

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

MAURICE DU PARQUET

Ingénieur des Arts et Manufactures

Première thèse :

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA PRÉPARATION
PHYSIQUE DU MÉLANGE CARBURÉ
DANS UN MOTEUR FROID AU MOYEN
D'UN THERMOMÈTRE A VARIATION DE RÉSISTANCE

Deuxième thèse :

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

soutenues le 4 Janvier 1952, devant la commission d'examen

MM. RIBAUD.....	}	Président.
CABANNES		Examineurs.
TRILLAT		

FACULTÉ DES SCIENCES

Nom du Candidat : DU PARQUET

Prénom : MAURICE

Date de la soutenance : 4 Janvier 1952

Numéro d'ordre : 356

DU PARQUET Maurice. —
Contribution à l'étude de la préparation
physique du mélange carburé dans un
moteur froid au moyen d'un thermo-
mètre à variation de résistance. — Paris.
In-4°, 144 p., 94 fig., tabl.

Th. Ing. Doc. Paris - 1952, N° 356

DU PARQUET Maurice. —
Contribution à l'étude de la préparation
physique du mélange carburé dans un
moteur froid au moyen d'un thermo-
mètre à variation de résistance. — Paris.
In-4°, 144 p., 94 fig., tabl.

Th. Ing. Doc. Paris - 1952, N° 356.

DU PARQUET Maurice. —
Contribution à l'étude de la préparation
physique du mélange carburé dans un
moteur froid au moyen d'un thermo-
mètre à variation de résistance. — Paris.
In-4°, 144 p., 94 fig., tabl.

Th. Ing. Doc. Paris - 1952, N° 356.

DU PARQUET Maurice. —
Contribution à l'étude de la préparation
physique du mélange carburé dans un
moteur froid au moyen d'un thermo-
mètre à variation de résistance. — Paris.
In 4°, 144 p., 94 fig., tabl.

Th. Ing. Doc. Paris - 1952, N° 356.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

MAURICE DU PARQUET

Ingénieur des Arts et Manufactures

Première thèse :

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA PRÉPARATION
PHYSIQUE DU MÉLANGE CARBURÉ
DANS UN MOTEUR FROID AU MOYEN
D'UN THERMOMÈTRE A VARIATION DE RÉSISTANCE

Deuxième thèse :

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

soutenues le 4 Janvier 1952, devant la commission d'examen

MM. RIBAUD.....	} Président.
CABANNES.....	
TRILLAT.....	

Examineurs.



FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen..... M. A. CHATELET.

PROFESSEURS

G. JULIA..... T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	COULOMB..... T	Physique du globe.
A. DENJOY..... T	Théorie des Fonctions	M ^{lle} COUSIN..... T	Biologie animale (P. C. B.).
L. LUTAUD..... T	Géographie physique et Géologie dynamique.	CHRÉTIEN.....	Chimie (P.C.B.).
E. DARMOIS..... T	Enseignement de Physique.	DRACH.....	Zoologie.
Robert LÉVY..... T	Physiologie comparée.	KASTLER.....	Physique.
M ^{me} RAMART-LUCAS..... T	Chimie organique.	CHATELET..... T	Arithmétique et théorie des nombres.
FOCH..... T	Mécanique physique et expérimentale.	EPHRUSSI..... T	Génétique.
PAUTHENIER..... T	Electrotechnique générale.	WURMSER..... T	Biologie physico-chimique.
DE BROGLIE..... T	Théories physiques.	BAUER..... T	Chimie - Physique.
JOB..... T	Chimie générale.	RIVIÈRE.....	Géologie (P. C. B.).
PRENANT..... T	Anatomie et Histologie comparées.	GAUTHERET.....	Biologie végétale (P.C.B.).
COMBES..... T	Physiologie végétale.	LUCAS.....	Physique.
GARNIER..... T	Géométrie supérieure.	A. THOMAS.....	Évolution des êtres organisés.
PÉRÈS..... T	Mécanique rationnelle.	ARNULF.....	Optique appliquée.
LAUGIER..... T	Physiologie générale.	MAX MORAND.....	Physique.
TOUSSAINT..... T	Technique aéronautique.	SOLEILLET.....	Physique.
M. CURIE..... T	Physique (P. C. B.).	FORTIER..... T	Mécanique expérimentale des fluides.
G. RIBAUD..... T	Hautes températures.	DANJON..... T	Astronomie.
CHAZY..... T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.	FROMAGEOT..... T	Chimie biologique.
CROZE..... T	Physique théorique et physique céleste.	LAPORTE..... T	Physique générale et Radio-activité.
DUPONT..... T	Théories chimiques.	JANET.....	Mathématiques générales.
VALIRON..... T	Calcul différentiel et Calcul intégral.	PETIT..... T	Biologie maritime.
BARRABÉ..... T	Géologie structurale et géologie appliquée.	QUENEY..... T	Météorologie et dynamique atmosphérique.
VAVON..... T	Analyse et mesures chimiques.	GALLIEN.....	Biologie animale (P.C.B.).
G. DARMOIS..... T	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	EICHHORN.....	Biologie végétale (P.C.B.).
J. BOURCART..... T	Géographie physique et géologie dynamique.	DE COGNAC.....	Biologie végétale (P.C.B.).
AUBEL..... T	Chimie biologique.	LAVAL.....	Physique (P.C.B.).
M ^{me} JOLIO-CURIE..... T	Physique générale et Radio-activité.	M ^{lle} CAUCHOIS.....	Chimie-Physique.
PLANTFOL..... T	Botanique.	THELLIER.....	Physique du Globe.
CABANNES..... T	Recherches physiques.	AUDUBERT.....	Électrochimie.
GRASSÉ..... T	Évolution des êtres organisés.	L'HÉRITIER.....	Génétique.
PRÉVOST..... T	Chimie organique.	GRIVET..... T	Radio Électricité.
BOULIGAND..... T	Application de l'analyse à la Géométrie.	PONCIN.....	Mécanique des Fluides.
CHAUDRON..... T	Chimie appliquée.	THIRY..... T	Mécanique appliquée.
WYART..... T	Minéralogie.	DUBREIL.....	Mathématiques générales.
TEISSIÈRES..... T	Zoologie.	QUELET.....	Chimie (P.C.B.).
MANGENOT..... T	Biologie végétale.	CAGNIARD.....	Géophysique appliquée.
P. AUGER.....	Physique quantique et relativité.	CHAMPETIER.....	Chimie appliquée.
MONNIER.....	Physiologie générale.	CUVILLIER.....	Géologie structurale et Géologie appliquée.
PIVETEAU..... T	Géologie.	JUNG.....	Pétrographie.
ROCARD..... T	Physique.	TRILLAT.....	Physique (P. C. B.).
H. CARTAN..... T	Mathématiques (E.N.S.).	WIEMANN.....	Chimie (P.C.B.).
SCHAEFFER..... T	Physiologie des fonctions.	LICHNEROWICZ.....	Mathématiques.
LAFITTE..... T	Chimie générale.	JACQUINOT.....	Physique (P.C.B.).
FAYART.....	Calcul des Probabilités et Physique-Mathématique.	VASSY.....	Physique de l'atmosphère.
		DESTOUCHES.....	Théories Physiques.
		M. PRUVOST..... T	Géologie.
		AMIEL.....	Chimie (P.C.B.).
		HOCART.....	Minéralogie.
		MACHEBOEUF.....	Microbiologie.
		J. P. MATHIEU.....	Physique (P.C.B.).
		COUTEAUX.....	Biologie animale (P.C.B.).
		MAY.....	Biologie animale (P.C.B.).

Secrétaire..... CH. MONIER.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR

G. RIBAUD

Hommage de respectueuse reconnaissance

AVANT-PROPOS

Au point de rencontre de difficultés d'ordre nettement pratiques et de problèmes théoriques complexes, l'étude du démarrage des moteurs froids est d'un abord malaisé si l'on veut considérer simultanément tous les facteurs entrant en jeu.

Une étude séparée de la préparation physique du mélange carburé apporte au problème une contribution particulièrement utile, mais c'est dans les cylindres eux-mêmes que cette étude doit être poursuivie, sous peine d'être incomplète. La difficulté consiste alors à enregistrer en cours d'évolution, des pressions et des températures rapidement variables. Nous n'avons pas connaissance que des mesures de variation de température dans un cylindre de moteur ou de compresseur à piston aient été exécutées jusqu'ici même dans le cas plus simple d'une alimentation en air seul.

La mise au point d'un thermomètre électronique par variation de résistance jointe à l'emploi du manographe stroboscopique nous a permis d'aborder ce problème.

Une difficulté s'est présentée provenant du fait que les essences sont des mélanges d'hydrocarbures, c'est-à-dire des corps ayant une chaleur latente de vaporisation relativement faible et un rapport des masses stoechiométrique, voisin de 15 g. d'air pour 1 de carburant. Les enregistrements de température en cours de compression de mélange d'air et d'hydrocarbures volatils doivent donc donner des résultats peu différents de ceux qu'on obtient avec l'air seul et il est difficile d'en tirer des conclusions. Des essais préliminaires ont confirmé cette prévision.

Il a donc été décidé de faire porter l'étude sur des corps ayant un rapport stoechiométrique air/carburant assez bas et dont nous connaissons l'aptitude au démarrage afin de pouvoir étendre aux hydrocarbures les observations faites d'une manière plus visible sur ces corps.

Les carburants choisis ont été le méthanol à cause de son faible rapport stoechiométrique et de sa chaleur latente de vaporisation élevée jointe à une grande volatilité, et, en seconde ligne, l'éthanol anhydre à cause de sa chaleur latente de vaporisation élevée et sa plus faible volatilité.

Après une introduction ayant pour objet de situer la question du démarrage à froid et de la préparation du mélange carburé dans les moteurs à explosion ainsi qu'un certain nombre de notions fondamentales sur la vaporisation et les échanges de chaleur, l'étude aborde l'évolution du mélange introduit dans un moteur. L'exposé a été subdivisé en quatre parties.

La première est consacrée à la description du matériel utilisé que nous accompagnons d'une critique de la précision des mesures.

La deuxième à l'étude au moyen d'appareils instantanée de l'évolution du mélange introduit dans le collecteur d'admission.

La troisième à l'étude de la compression et de la détente de l'air dans un cylindre de moteur fonctionnant en ventilateur.

La quatrième à l'étude de la compression d'un mélange d'air et de carburant volatil dans un cylindre de moteur.

Je remercie Monsieur le Professeur RIBAUD du bienveillant accueil qu'il a bien voulu accorder à cette étude,

Monsieur THALER du soutien moral et effectif dont il m'a constamment appuyé,

Monsieur VICHNIEVSKY pour les moyens expérimentaux et les précieux conseils qui ont rendu possible la réalisation de mon travail,

Monsieur NAVARRE et l'INSTITUT DU PETROLE pour l'aide matérielle de toute nature qui m'a été apportée et enfin,

Mes Collègues de la STATION de RECHERCHES CLAUDE BONNIER pour leur contribution personnelle.

UNITES

Les unités adoptées dans nos calculs sont celles du système M.T.S.
Les masses étant rapportées à une molécule-gramme (ou mole) de constituant.

Les volumes spécifiques sont exprimés en dm^3/mole , ce qui revient au $\text{m}^3/\text{molécule Kg}$.

Les énergies sont exprimées en joules, qu'il s'agisse d'énergie mécanique ou d'énergie thermique.

Les chaleurs spécifiques sont exprimées en Joule/mole °C.

NOTATIONS

Les notations sont groupées en deux tableaux :

Le premier de ces tableaux indique les notations principales qui sont relatives à la nature de chacune des grandeurs intervenant dans notre exposé.

Nous avons réservé les lettres cursives à la représentation des grandeurs rapportées à une mole de constituant.

Les notations principales sont le plus souvent complétées par des indices précisant les conditions particulières à chacune des grandeurs considérées.

Les principes d'emploi et la liste des indices sont indiqués sur le deuxième tableau de notations.

TABEAU DES NOTATIONS
Notations générales

Grandeur représentée	Notations		Observations
	grandeur rap- portée à : l'uni- : l té de : mole masse :		
Temps	t		
Masse	M		
Masse molaire		$\mathcal{M}$	
Nombre de moles	N		
Proportion stoechiométrique		M_{st} N_{st}	
Richesse	r		
Volume	V		
Volume spécifique		γ	
Surface	ξ		
Pression	p		
Température	θ		:Centigrade
Température	T		absolue (T = θ + 273)
Constante des gaz		R	
Enthalpie		H	
Entropie		S	
Chaleur de vaporisation		L	
Chaleur spécifique		C	G
Chaleur échangée	Q		
Coefficient de transmission de chaleur:	K		
Vitesse de rotation	n		tours/minute
Vitesse angulaire	ω		
Angle dephasage	φ		
Résistance électrique	p		

TABLEAU DES NOTATIONS
(suite)

Indices

Des indices-lettres précisent la nature des transformations, le constituant, la phase considérée, etc ...

Des indices numériques précisent le stade considéré de l'évolution du mélange.

Les indices se suivent dans l'ordre : nature de transformation, constituant, phase, indice numérique.

L'indice	p	se rapporte	aux transformations à pression constante.
L'indice	T	se rapporte	aux transformations à température constante.
L'indice	a	se rapporte	à l'air dans le cas de mesures avec carburant.
L'indice	s	se rapporte	à l'air dans le cas de mesures sans carburant.
L'indice	st	se rapporte	aux conditions stoechiométriques.
L'indice	c	se rapporte	au carburant quel/que soit son état physique.
L'indice	v	se rapporte	au carburant en phase vapeur.
L'indice	l	se rapporte	au carburant en phase liquide.
L'indice	eb	se rapporte	à l'ébullition à la pression atmosphérique.
L'indice	f	se rapporte	aux conditions de saturation.
L'indice	g	se rapporte	aux mélanges gazeux.
L'indice	m	se rapporte	aux valeurs moyennes.
L'indice	M	se rapporte	aux valeurs maxima.
L'indice	μ	se rapporte	aux valeurs minima.
L'indice	M-H	se rapporte	au point mort haut.
L'indice	M-B	se rapporte	au point mort bas.
L'indice	z	se rapporte	au rang des harmoniques.

L'indice	0	se rapporte	aux conditions extérieures.
L'indice	1	se rapporte	au collecteur d'admission.
L'indice	2	se rapporte	à la phase d'aspiration.
L'indice	3	se rapporte	à la fin de la période d'aspiration.
L'indice	4	se rapporte	à la fin de la période de compression.
L'indice	5	se rapporte	à la fin de la période détente.
L'indice	6	se rapporte	à la fin de la période refoulement.
L'indice	7	se rapporte	au collecteur d'échappement.

Les accents se rapportent aux valeurs mesurées par opposition aux valeurs vraies ou corrigées.

CONSTANTES PHYSIQUES

Constante générale molaire des gaz parfaits. - [44]

$$R = 8,316 \approx 8,32 \text{ J/mole } ^\circ K$$

Volume des gaz parfaits à 0°C sous 1 hpz abs.

$$22,7 \text{ dm}^3/\text{mole}$$

Masse molaire de l'air atmosphérique [44] : 29,0

Teneur volumétrique en oxygène [44] : 21,0 %

La chaleur spécifique de l'air atmosphérique à pression constante [19]
varie pratiquement suivant une loi linéaire entre :

$$\begin{array}{lcl} \text{et} & \begin{array}{l} - 15^\circ C \\ + 400^\circ C \end{array} & \begin{array}{l} G_{pa} = 29,1 \text{ J/mole} \\ G_{pa} = 31,0 \text{ "} \end{array} \end{array}$$

La masse spécifique du méthanol et de l'éthanol anhydres à l'état liquide entre + 15 et + 25°C est comprise entre :

$$0,796 \text{ et } 0,785 \text{ g/cm}^3 \quad [20] \quad [44] \quad [45]$$

Les chaleurs spécifiques du méthanol et de l'éthanol liquides entre 0 et + 110°C ont été mises en courbes sur la fig. I.1.

Chaleurs spécifiques à pression constante des vapeurs ...

... de méthanol [23] $G_{pv} = 42,5 + 0,125 \theta$ J/mole °C

... d'éthanol [23] $G_{pv} = 62 + 0,159 \theta$ J/mole °C

Tensions de vapeur du méthanol et de l'éthanol entre - 10 et + 150°C

Voir fig. I - 2 a,b,c et I. 3 a,b,c,

Formule de l'enthalpie des vapeurs de carburant dans l'hypothèse simplificatrice où ces vapeurs se comportent comme des gaz parfaits jusqu'à la saturation :

$$H_{v\theta} = L_{0^\circ C} + G_{pv} \cdot \theta$$

avec :

$$L_{0^\circ C} = L_{\theta_{eb}} - (C_l - C_{pv})\theta_{eb}$$

En adoptant pour $L_{\theta_{eb}}$ les chaleurs latentes de vaporisation mesurées par MATHIEWS [46] à la température d'ébullition, on obtient :

$$\begin{array}{lcl} \text{Pour le méthanol} & : & L_{0^\circ C} = 37.420 \text{ J/mole.} \\ \text{Pour l'éthanol} & : & \text{"} = 42.670 \text{ J/mole.} \end{array}$$

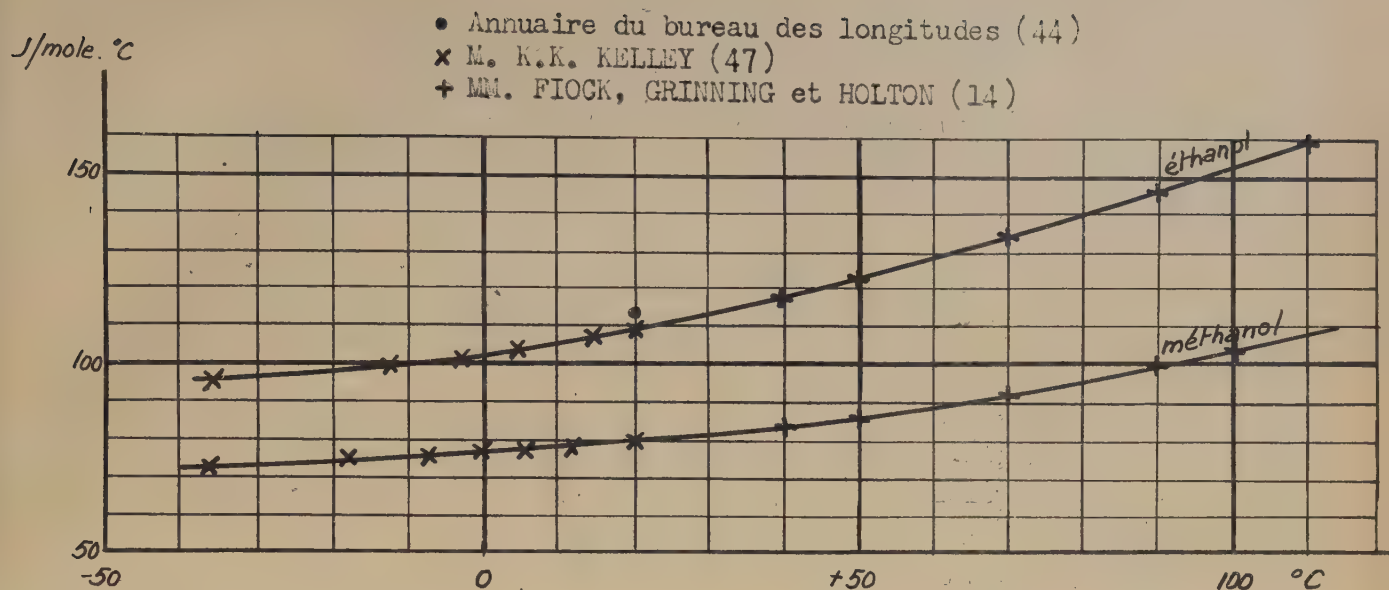


Fig. I. 1

Chaleur spécifique en phase liquide du méthanol
 et de l'éthanol.

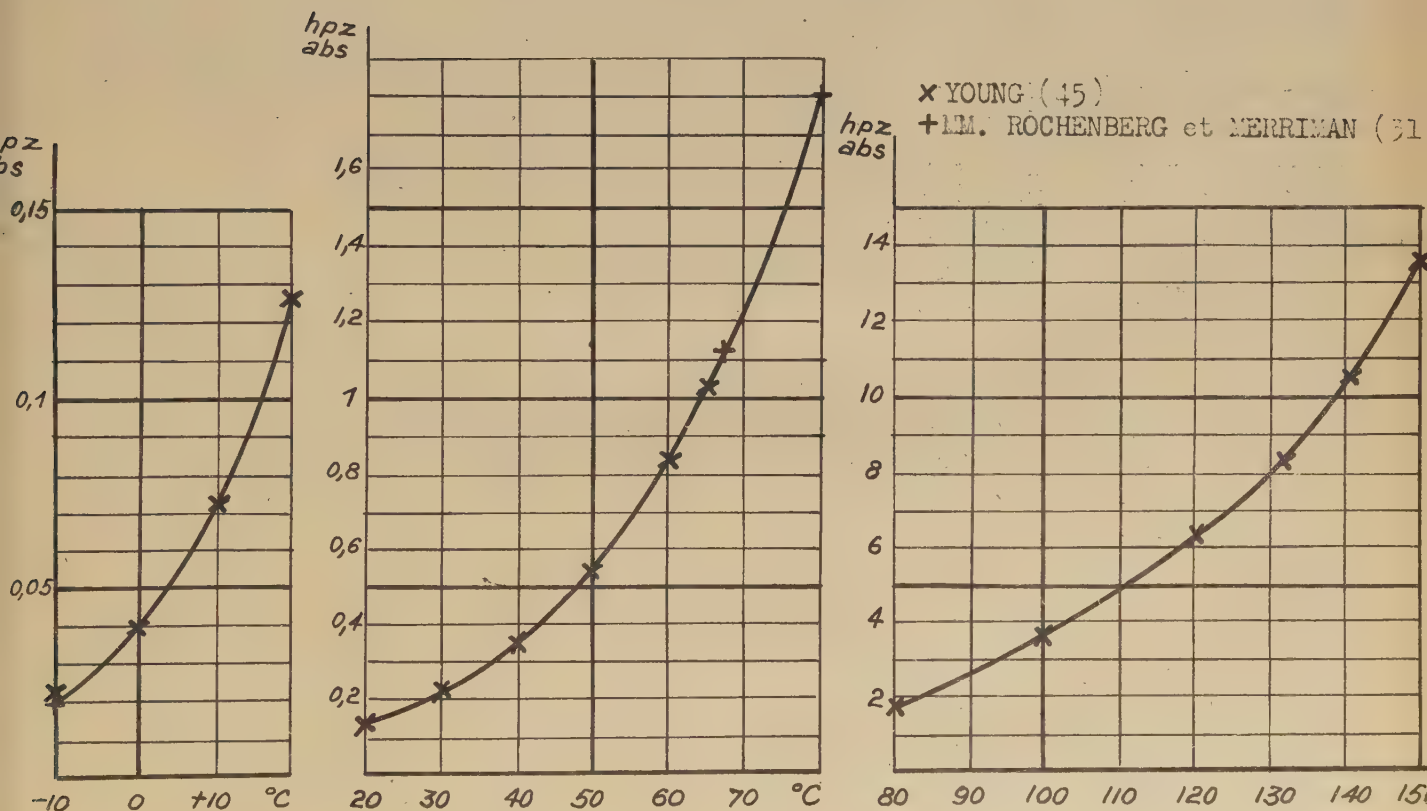


Fig. I. 2 abc

Tension de vapeur du méthanol.

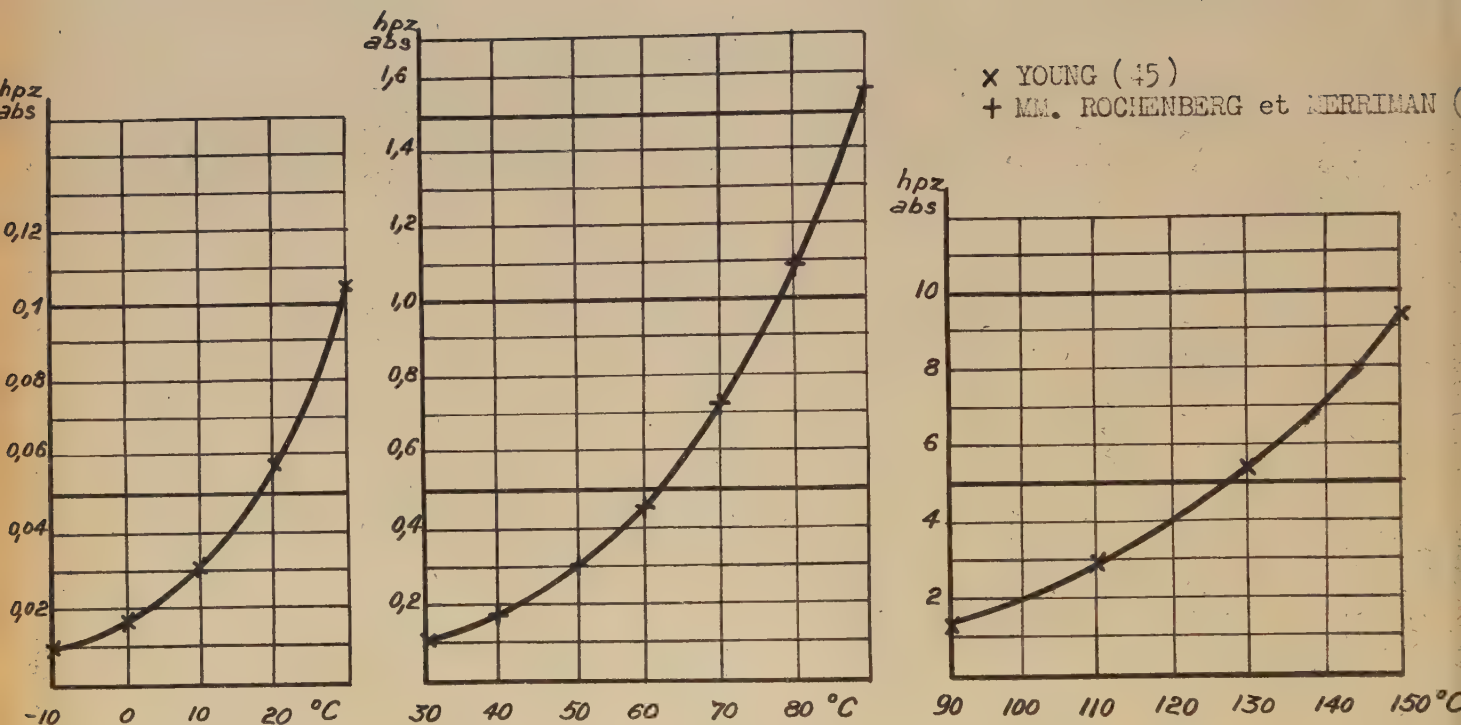


Fig. I 3 a, b, c

Tension de vapeur de l'éthanol.

RICHESSSE D'UN MELANGE COMBUSTIBLE

L'usage en FRANCE est de définir le mélange air-carburant par sa " richesse " qui est le rapport entre la masse de carburant considérée et celle qui serait strictement nécessaire pour que tout l'oxygène et tout le carburant du mélange soient transformés en gaz brûlés.

Avec notre système de notations, la richesse d'un mélange a pour expression :

$$r = \frac{M_{st}}{M_a/M_c} = \frac{N_{st}}{N_a/N_c}$$

Les auteurs allemands définissent le mélange par le rapport inverse : $\frac{1}{r}$ qu'ils appellent " coefficient d'excès d'air " (Luftüberschusszahl) et que l'on traduit souvent en français par le mot " dilution ".

Les auteurs américains ont l'habitude de définir le mélange d'air et d'essence par le rapport du poids d'air au poids de carburant et lui donnent le nom " air-fuel-ratio ".

Les proportions stoechiométriques sont :

Pour le méthanol $N_{st} = 7,15$

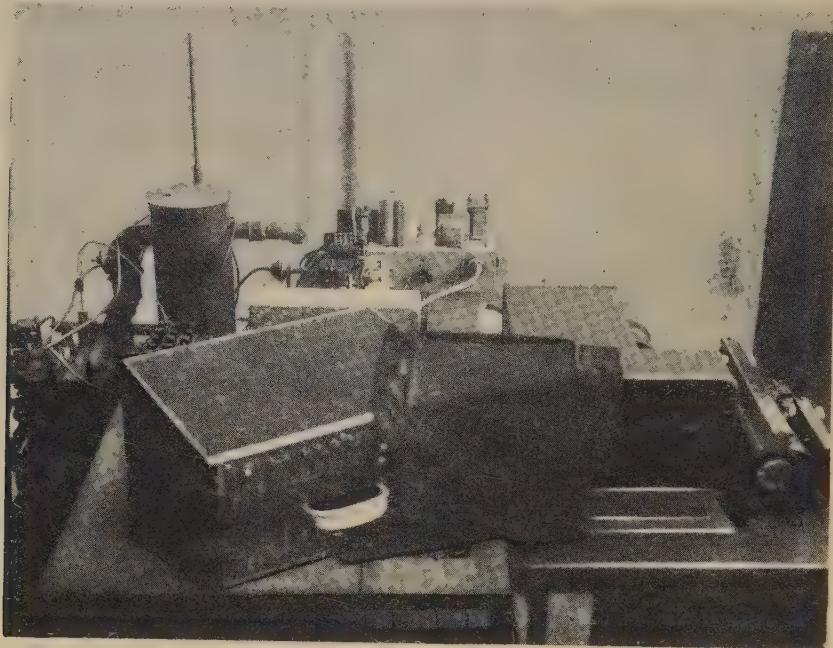
l'éthanol $N_{st} = 14,3$

Relation entre la richesse en phase vapeur et les pressions partielles. -

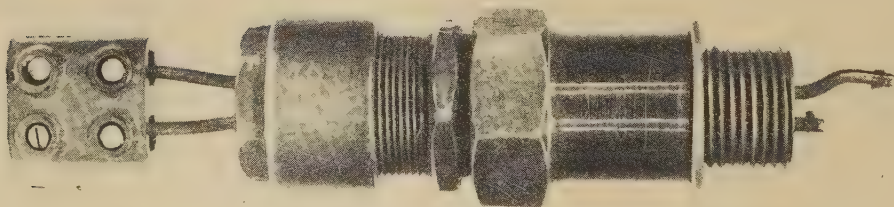
$$r_v = \frac{p_v}{p_a} \cdot N_{st}$$

Relation entre les limites d'inflammabilité et la richesse en phase vapeur -

MM. AUBERT, REINGOLD et SIVOLOBOV ont montré [39] que, pour tous les carburants liquides, la limite inférieure d'inflammabilité correspond à une richesse en phase vapeur voisine de 0,5 et la limite supérieure d'inflammabilité à une richesse en phase vapeur voisine de 2.



VUE D'ENSEMBLE DU THERMOMETRE A RESISTANCE
INSTALLE SUR UN MOTEUR DE PETITE CYLINDREE



CAPTEUR DE TEMPERATURE

INTRODUCTION

CHAPITRE Ier

BIBLIOGRAPHIE SUR LA PREPARATION PHYSIQUE DU MELANGE CARBURE DANS UN MOTEUR A EXPLOSION

I.1 - ETAT ACTUEL DE LA QUESTION DU DEMARRAGE. -

Nous allons faire rapidement le point des travaux exécutés à ce jour sur le démarrage à froid des moteurs à carburation externe, puisque c'est cette question que la présente étude a pour objet de faire progresser.

Il résulte d'une bibliographie que nous ferons paraître dans la Revue de l'INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE (27) que malgré la diversité des conditions expérimentales les résultats des travaux exécutés présentent entre eux une certaine cohésion dont nous allons dégager les grandes lignes.

a/ - Facteurs influençant le démarrage. -

Pour un carburant donné, considéré à une température déterminée les facteurs influant sur le démarrage à froid sont par ordre d'importance, qu'il s'agisse d'un corps pur ou d'un mélange : la richesse du mélange, la viscosité du lubrifiant, la tension d'allumage (qui agit par tout ou rien) et, en dernier lieu, la vitesse d'entraînement.

Les auteurs sont unanimes à signaler la très grande importance de la richesse du mélange introduit dans le moteur; mais l'étude de ce facteur est malaisée lorsque l'installation comporte un carburateur à starter automatique qui admet un mélange très riche pendant la période de lancement avec appauvrissement rapide en fonction de la vitesse. Il nous semble que l'on a tendance à exagérer la richesse pendant la période de lancement.

b/ - Classement des carburants d'après leur aptitude au démarrage. -

Nous avons pu établir (24) dans le cas d'un moteur SIMCA 5, muni d'un carburateur modifié pour alimenter en mélange de richesse pratiquement constante, un classement d'aptitude au démarrage de quelques carburants basé sur la température au-dessous de laquelle un fonctionnement stable n'est plus possible.

Ce classement s'énonce dans l'ordre de mérite décroissant suivant : essence, acétone, benzol industriel, acétate d'éthyle, éthanol, méthanol.

Des essais ultérieurs [25] ont placé l'heptane normal et l'isooctane entre le benzol et l'acétate d'éthyle, et ont classé l'octane normal à peu près comme l'éthanol.

c/ - D'une manière générale il a été possible de formuler un certain nombre de règles pratiques pour les utilisateurs mais on n'a pas réussi à les coordonner d'une manière satisfaisante.

Cette observation a fait apparaître depuis longtemps l'utilité d'une étude spéciale de la préparation du mélange dans un moteur froid en éliminant, dans toute la mesure du possible, les facteurs autres que la nature du carburant lui-même.

L'évolution du mélange introduit dans un moteur met en jeu simultanément des phénomènes physiques transformant plus ou moins complètement un mélange d'air et de combustible liquide en un mélange d'air et de vapeur et d'autre part des phénomènes chimiques modifiant plus ou moins celle-ci.

Dans le cas de l'allumage commandé c'est la préparation physique du mélange à enflammer qui joue le rôle principal, l'évolution chimique intervenant alors à titre d'élément correctif.

1.2 - MESURES DE TEMPERATURE DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION EXECUTES A LA STATION NATIONALE DE RECHERCHES " CLAUDE BONNIER " A BELLEVUE [25] -

Avant d'aborder la bibliographie de la préparation du mélange carburé nous communiquons les résultats d'un essai préliminaire particulièrement simple. C'est de la comparaison de ces résultats avec les conclusions des différents auteurs qu'est résulté le programme de la présente étude.

Une série de mesures a été exécutée sur un moteur SIMCA 5 alimenté successivement en éthanol, en méthanol et en heptane normal au double de la richesse théorique en vue de déterminer à différentes vitesses du moteur la dépression et la température moyenne dans le collecteur d'admission.

Cette température était mesurée par un thermomètre à mercure dont la stabilisation demandait une vingtaine de secondes environ.

Les températures mesurées n'ont jamais été inférieures à :

- $\theta_1 = + 5^{\circ}\text{C}$ avec du méthanol introduit à $+ 18^{\circ}\text{C}$
- $\theta_1 = - 4^{\circ}\text{C}$ avec du méthanol introduit à $+ 9^{\circ}\text{C}$
- $\theta_1 = + 12^{\circ}\text{C}$ avec de l'éthanol introduit à $+ 24^{\circ}\text{C}$
- $\theta_1 = + 3^{\circ}\text{C}$ avec de l'heptane normal introduit à $12,5^{\circ}\text{C}$

Nous verrons (II.4d) que ces températures indiquent une vaporisation très incomplète du carburant s'il n'y a pas d'apport extérieur de chaleur dans le collecteur d'admission.

I.3 - TRAVAUX AMERICAINS SUR LA VOLATILITE DES ESSENCES ET SON INFLUENCE SUR L'APTITUDE DU DEMARRAGE. -

a/ - Analyse des publications américaines. -

Une analyse en langue française des publications antérieures à 1938 a été faite par M. AUDIBERT [2]

Le but commun des recherches américaines sur la préparation du mélange carburé a été de déterminer à partir des mesures de laboratoire une loi de vaporisation de l'essence dans le collecteur d'admission et d'en déduire la volatilité du carburant et la richesse du mélange à introduire dans un moteur pour obtenir dans le collecteur une richesse en phase vapeur voisine de 0,95 (rapport : air/carburant = 16/1).

Les études dont nous avons connaissance se réfèrent toutes plus ou moins aux travaux de M. O.C. BRIDGMAN [6] , [7] , [8] , [2] qui a étudié sur un appareil de laboratoire la vaporisation de l'essence en présence d'air à la pression atmosphérique.

L'auteur a ainsi tracé un faisceau de courbes d'équilibre, connues dans la littérature américaine sous le nom de courbes EAD (equilibrium air distillation) et indique pour différents rapports du mélange air-carburant introduit, la proportion de carburant vaporisé en fonction de la température. Il a ensuite établi des abaques reliant ces courbes d'équilibre à la courbe de distillation A.S.T.M. du carburant. (x)

M. GRANGER BROWN [9] , [2] ainsi que MM. EDGARD, HILL et BOYD [12][2] ont raccordé les résultats des essais de laboratoire de M. BRIDGMAN à des résultats d'essais de démarrage exécutés sur moteurs réels. C'est de ces travaux que résulte la conception généralement répandue que pour avoir une bonne aptitude au démarrage, un carburant doit posséder une tête de distillation suffisamment légère pour que le point 10 % de la courbe de distillation A.S.T.M. soit au-dessous de 75°C. Les auteurs précisent toutefois que leurs conclusions ne sont valables que pour des carburants dont tous les constituants sont tirés du pétrole et que la volatilité ne doit

(x) - La vaporisation des mélanges ne s'effectuant pas à température constante et l'évolution de cette température dépendant des conditions opératoires, les techniciens du pétrole ont pris l'habitude de qualifier la volatilité d'une essence d'après les résultats d'un essai purement technique décrit avec précision par l'American Society for Testing Materials [48] . La courbe obtenue en portant en abscisses les volumes de carburant distillé au cours de cet essai et en ordonnées les températures d'ébullition correspondantes est communément désignée sous le nom de " Courbe de distillation A.S.T.M. "

pas être exagérée à cause des dangers de " tampon de vapeur " (vapor-lock).

MM. BARBER et MACPHERSON [3] ont perfectionné les abaques de M. BRIDGEMAN.

MM. GEORGE, G. LAMB et LEO J.O'BRIEN [21], après avoir signalé que les carburants synthétiques d'aviation comportent des queues de distillation préjudiciables à une bonne vaporisation déclarent trop empirique une appréciation des carburants basée uniquement sur l'emploi des courbes A.S.T.M. et E.A.D. Ils proposent une méthode de calcul de la composition du liquide non distillé à partir des pressions partielles de vapeur des constituants et de l'application d'une formule de vitesse de vaporisation faisant intervenir le coefficient de diffusion et le diamètre des gouttelettes liquides.

b/ - Critique du point de vue américain sur la préparation du mélange carburé. -

Il est incontestable que la volatilité d'un carburant est un des éléments fondamentaux de son aptitude au démarrage, mais il n'est pas surprenant que des travaux exécutés spécialement en vue d'établir une relation entre l'aptitude au démarrage et la courbe de distillation A.S.T.M. aient manqué de généralité. Pratiquement les constituants des essences ne diffèrent entre eux que par leur volatilité, leurs autres propriétés physiques étant très voisines. On conçoit donc que des règles basées uniquement sur la volatilité conviennent pour les carburants extraits des pétroles et ne puissent pas être étendues aux autres.

Les résultats des essais de BELLEVUE montrent que la volatilité n'est pas seule à intervenir dans l'aptitude d'un carburant au démarrage et que l'existence d'une tête de distillation très volatile n'est pas une condition " sine qua non ", des excellents démarrages ayant été obtenus avec des corps purs.

La doctrine américaine du démarrage (que la richesse du carburant vaporisé sans apport de chaleur extérieur dans le collecteur d'admission doit être nécessairement voisine de l'unité) a conduit à adopter des richesses considérables au moment du démarrage. Nos essais ne l'ont pas confirmée (I.1 et 2).

I.4 - ETUDES THEORIQUES EUROPEENNES SUR LA PREPARATION DU MELANGE CARBURE. -

a/ - Dans une publication allemande sur l'amélioration des conditions de démarrage des moteurs à explosion par injection directe d'un carburant auxiliaire volatil, M.F. SCHAUB [36] expose sur la vaporisation quelques idées générales qui cadrent assez bien avec ce que nous avons observé.

Pour que le démarrage soit possible, il faut que la pression partielle du carburant ne soit pas inférieure à 1,5 ou 2 % de la pression totale du mélange. On peut augmenter celle-ci par addition de carburants de démarrage ou par simple enrichissement du mélange, mais il n'en subsiste pas moins que les constituants lourds en excès ne se vaporisent pas et vont se déposer sur les parois où leur vaporisation ultérieure devient plus difficile. Ce phénomène est d'autant plus sensible que le moteur tourne plus lentement.

b/ - Les travaux théoriques de M. SERRUYS [37] , [38] ont pour objet d'établir une règle simple de prédétermination de l'aptitude au démarrage s'appuyant sur les résultats d'un calcul rapide.

Monsieur SERRUYS considère le cas hypothétique d'un moteur froid recevant par l'intermédiaire d'un carburateur un mélange d'air et de carburant liquide, celui-ci se vaporisant entièrement à la pression atmosphérique pendant la phase d'admission sans aucun apport de chaleur extérieur et il calcule l'abaissement de température qui en résulterait. Il calcule d'autre part la pression partielle du carburant dans le mélange, après vaporisation totale et recherche ensuite sur la courbe de tension de vapeur " la température pour laquelle la pression de vapeur saturante est égale à la pression partielle considérée ". Il lui donne le nom de " point de rosée théorique du mélange ". C'est la différence algébrique entre les deux températures fictives ainsi calculées qu'il propose d'utiliser pour caractériser la difficulté de départ à froid.

Monsieur SERRUYS précise bien qu'il ne s'agit là que d'une méthode d'évaluation rapide ne correspondant pas forcément à la réalité des phénomènes.

Nous avons fait l'application de cette méthode aux carburants étudiés à BELLEVUE, en nous plaçant dans l'hypothèse d'une température extérieure : $\theta_0 = + 15^{\circ}\text{C}$ [24] [25] . Malgré quelques permutations, le classement des carburants par cette méthode a une assez bonne correspondance avec le classement expérimental, mais il ne renseigne pas clairement sur les températures extérieures permettant le démarrage.

c/ - Etudes de MM. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF [22]

Dans un très intéressant ouvrage sur la " Thermodynamique des gaz humides " les deux auteurs belges étudient les propriétés des mélanges gaz-liquide en équilibre ou non. La majorité des applications se rapportent à l'air humide, mais l'extension de l'étude au cas de la carburation est amorcée à la fin de l'ouvrage.

Exprimant que l'enthalpie du mélange reste constante, les auteurs proposent de calculer l'abaissement de température en fonction de la quantité de carburant vaporisé dans le collecteur d'admission par l'une des deux formules suivantes :

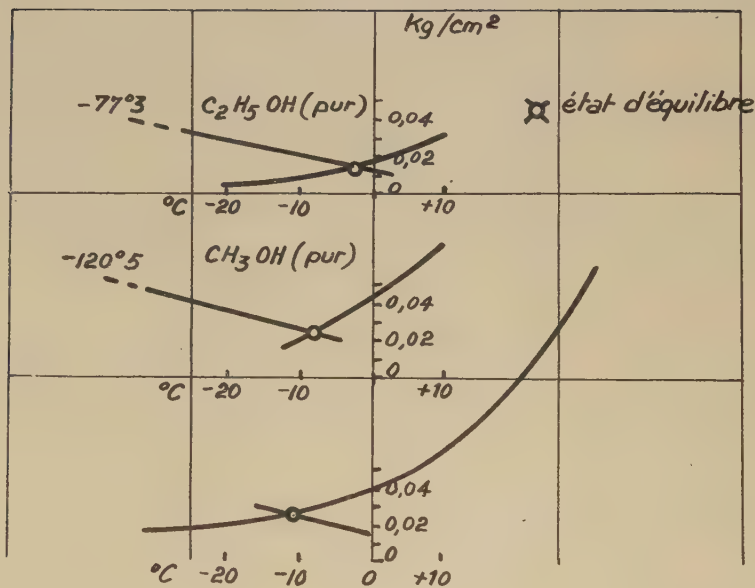


Fig.I.4: Température d'équilibre de vaporisation d'un carburant pur dans le collecteur d'admission d'un moteur à carburateur.

Extrait de : THERMODYNAMIQUE DES GAZ HUMIDES
Fig. 28, p. 154, par MM. G. Van LERBERGHE et
P. GLAUDSORFF (22).

1°/ - Dans l'hypothèse où le carburant liquide et le mélange gazeux sont à la même température :

$$\theta_0 - \theta_1 = \frac{L}{\frac{M_a}{M_{v1}} \left(C_{pa} + \frac{M_c}{M_a} C_l \right) - (C_l - C_{pv1})}$$

2°/ - Dans l'hypothèse où le carburant liquide et le mélange gazeux sont à des températures différentes.

$$(M_a \cdot C_{pa} + M_{v1} \cdot C_{pv}) (\theta_{g1} - \theta_{g0}) + M_{l1} \cdot C_l (\theta_{l1} - \theta_{l0}) + (M_{v1} - M_{v0}) [L + C_{pv} (\theta_{g0} - \theta_{l0})] = 0$$

Ils déterminent ensuite la pression partielle de la vapeur du carburant en fonction de la quantité vaporisée et rassemblent les deux séries de résultats sous forme de courbe.

L'intersection de cette courbe avec la courbe de tension de vapeur du carburant détermine la température de saturation et la tension de vapeur du carburant dans le collecteur (Fig. 1.4).

Les auteurs ont calculé par cette méthode, dans l'hypothèse de l'équilibre thermique entre le liquide et la phase gazeuse la vaporisation du benzène, du méthanol et de l'éthanol à pression constante, la température initiale θ_0 étant égale à + 17°C et la richesse du mélange introduit voisine de 1. Ils ont trouvé ainsi que la température dans le collecteur d'admission ne descend pas au-dessous de :

$$\theta_1 = - 2^\circ\text{C pour l'éthanol avec une vaporisation de } \frac{M_{v1}}{M_c} = 0,22$$

$$\theta_1 = - 7^\circ\text{C pour le méthanol avec une vaporisation de } \frac{M_{v1}}{M_c} = 0,18$$

Le laminage dans le collecteur d'admission a pour effet d'abaisser la température θ_1 , et d'augmenter le rapport $\frac{M_{v1}}{M_c}$ qui dans le cas de l'éthanol

deviennent pour une pression absolue de 0,9 hpz dans le collecteur,

$$\theta_1 = - 6^\circ\text{C} \quad \frac{M_{v1}}{M_c} = 0,24$$

Les calculs de MM. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF montrent ainsi que malgré l'influence favorable de la dépression dans le collecteur d'admission l'évaporation totale du carburant avant l'entrée dans les cylindres peut être matériellement impossible et que la vaporisation doit alors obligatoirement se poursuivre dans les cylindres.

Les auteurs ont ensuite amorcé le problème de la vaporisation du carburant pendant la compression en se plaçant dans l'hypothèse de transformations adiabatiques réversibles. Ils montrent que, dans ce cas, l'évaporation de l'éthanol est complète à la pression de 4,2 hpz, la température atteinte étant alors 48°C (point de rosée).

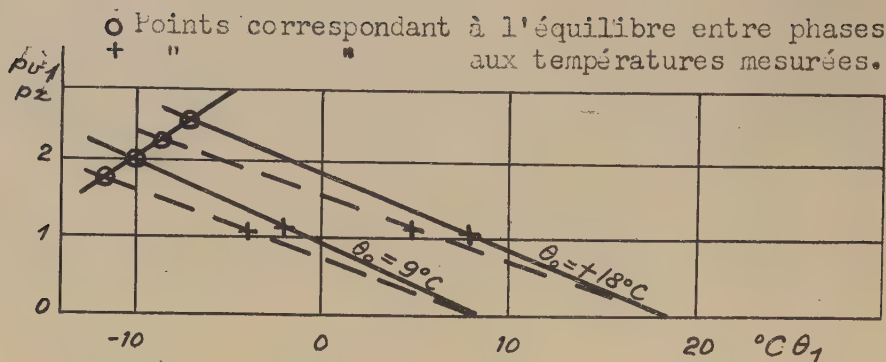


Fig.I 4a: Vaporisation du méthanol.

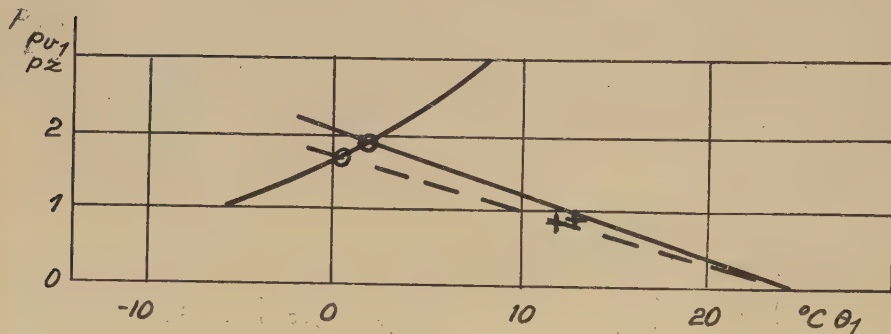


Fig.I 4 b: Vaporisation de l'éthanol. ($\theta_0 = +24^\circ\text{C}$)

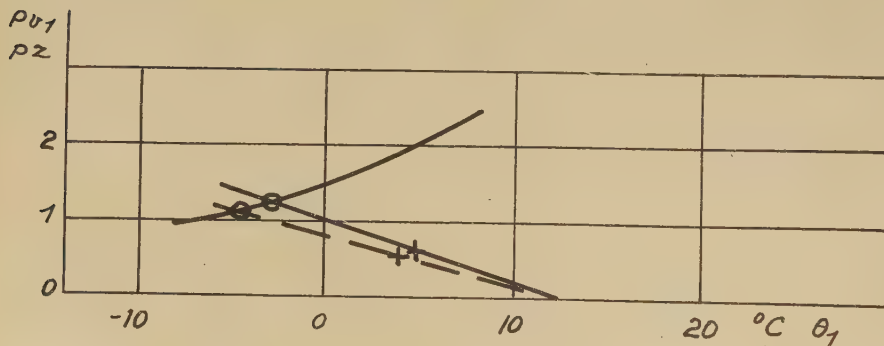


Fig. I 4c: Vaporisation de l'heptane normal.
($\theta_0 = +12^\circ \text{C}$)

Fig. 1 : a, b, c, : Détermination graphique de la température θ_1 dans le collecteur d'admission par intersection de la courbe $P_{V1} = f(\theta_1, P_1, \theta_0)$ avec la courbe de tension de vapeur.

— Cas d'un moteur SIMCA 5 entraîné à 400 t/mn.
— — — Cas d'un moteur SIMCA 5 entraîné à 600 t/mn.

Ils concluent : " comme le taux de compression utilisé en pratique est toujours supérieur à 5, nous pouvons en déduire que la vaporisation sera toujours complète au moment de la combustion car nous sommes placés ici dans un des cas les plus défavorables : emploi d'alcool éthylique pur et moteur froid ".

MM. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF terminent ainsi leur paragraphe sur la carburation.

" L'évolution du mélange carburé que nous venons d'étudier a été divisée en 3 parties :

- " 1°/ - Evaporation à la pression atmosphérique et à partir de 17°C.
- " 2°/ - Détente dans la tuyauterie d'aspiration au cours de laquelle l'évaporation se poursuit.
- " 3°/ - Compression dans le moteur où s'achève éventuellement l'évaporation.

" Si le 1°/ et le 2°/ représentent des phénomènes simultanés, les résultats obtenus ne sont pas modifiés. En effet, les deux transformations sont caractérisées par le fait que l'enthalpie est la même à l'état initial et à l'état final de chacune d'elles; la façon dont s'est opérée réellement la transformation entre les états initiaux et finaux n'intervient donc pas.

d/ - Confrontation de l'exposée de MM. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF avec les résultats des mesures de BELLEVUE.

Nous avons appliqué la méthode de calcul graphique proposée par MM. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF aux conditions de nos mesures de température dans le collecteur d'admission d'un moteur SIMCA 5. L'essentiel des résultats est reproduit sur les figures 1.4 a,b,c,. Nous avons représenté sur une croix les points correspondant aux températures mesurées dans le collecteur d'admission. Ces températures sont supérieures de 10°C environ aux températures calculées, mais il faut remarquer que nos mesures ne portaient que sur des valeurs moyennes et nous ne sommes pas sûrs que l'air admis ne reçoit aucune chaleur extérieure.

Le calcul indique pour la richesse en phase vapeur dans le collecteur d'admission, dans des conditions où le démarrage du moteur a été exécuté d'une manière parfaite :

$$\begin{aligned} r_{v1} &= 0,2 \text{ à } 0,25 \text{ pour le méthanol} \\ r_{v1} &= 0,3 \text{ à } 0,4 \text{ pour l'éthanol.} \end{aligned}$$

Ces valeurs sont inférieures à la limite d'inflammabilité des carburants

ce qui vient à l'appui de l'opinion de MM. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF que la vaporisation (incomplète dans le collecteur d'admission) se poursuit dans les cylindres.

I.5 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DU DEMARRAGE A FROID ET DE LA PREPARATION DU MELANGE CARBURE. -

Il se dégage de l'ensemble des études que nous venons d'examiner que s'il est indispensable de vaporiser une quantité de carburant suffisante pour assurer son inflammation, puis la mise en régime du moteur, il ne doit pas y avoir intérêt à augmenter exagérément la volatilité du carburant et la richesse du mélange.

Si l'inconvénient des queues de distillation est incontestable celui des volatilités trop grandes est signalé par tous les auteurs. Nous attirons toutefois l'attention sur le fait que, quoique liés au phénomène de " tampon de vapeur " les troubles de fonctionnement dus aux excès de vaporisation peuvent avoir d'autres causes. C'est ainsi qu'au cours de nos essais de démarrage à BELLEWUE, des étouffements ont été observés lorsque le moteur était alimenté avec un carburant volatil en mélange riche alors que le système d'alimentation en charge ne pouvait donner lieu aux " tampons de vapeur ".

Une doctrine de démarrage des moteurs à explosion basée uniquement sur l'étude de la vaporisation dans le collecteur d'admission risque donc de faire adopter des mélanges exagérément riches et c'est à l'intérieur même des cylindres que l'étude de la vaporisation présente son maximum d'intérêt. Cette étude a été rendue possible par la mise au point d'un thermomètre par variation de résistance dont nous donnerons plus loin la description.

CHAPITRE II

PROGRAMME EXPERIMENTAL ET BIBLIOGRAPHIE SUR LES

ECHANGES THERMIQUES

II.1 - PROGRAMME EXPERIMENTAL. -

La partie expérimentale de l'étude comporte d'une part des mesures relatives aux caractéristiques du moteur et aux conditions mécaniques de son fonctionnement, d'autre part des déterminations concernant les caractéristiques thermodynamiques des fluides introduits dans le moteur.

Ces dernières déterminations comprennent :

- Des mesures de débit d'air et de carburants ayant pour but de fixer les quantités sur lesquelles nous raisonnerons au cours de nos tentatives d'interprétation.

- Des mesures du maximum de dépression et des mesures instantanées de température dans le collecteur d'admission, sans carburant et avec méthanol.

- Des mesures comparatives de pression en cours de compression avec et sans méthanol.

- Des mesures instantanées de température en cours de compression et de détente dans un moteur froid alimenté en air seul.

- Des mesures instantanées de température en cours de compression et de détente dans un moteur alimenté en air seul après stabilisation naturelle du régime des échanges thermiques dans le moteur.

- Des mesures instantanées de température en cours de compression et de détente dans un moteur alimenté en air mélangé, de méthanol, puis d'éthanol sans allumage.

II.2 - RAISONS D'UNE BIBLIOGRAPHIE SUR LES ECHANGES THERMIQUES. -

L'évolution du mélange introduit dans un moteur est constamment accompagnée d'échanges de chaleur, d'une part entre la phase liquide et la phase gazeuse du mélange introduit, d'autre part entre le mélange introduit et le milieu extérieur par l'intermédiaire des parois du moteur.

Quand nous réunissions la documentation dont nous donnons l'analyse, nous avions l'espoir qu'elle nous permettrait de chiffrer ces échanges en appliquant aux formules relevées les résultats de nos mesures. Les phénomènes aléatoires se sont malheureusement révélés trop nombreux et il s'est d'autre part révélé nécessaire de connaître l'évolution de la température des parois intérieures qui s'est jusqu'ici dérobée aux investigations.

Par contre, malgré leur dispersion nos mesures ont présenté entre elles une cohésion suffisante pour renseigner sur le sens et l'ordre de grandeur des phénomènes thermiques.

L'analyse qui va suivre a pour objet de rassembler quelques renseignements de base sur lesquels nous appuierons nos interprétations.

II.3 - PROCESSUS DE LA VAPORISATION ET DE LA CONDENSATION.

M.F. BOSNJAKOVIC[4] résume la question de la manière suivante :

Tous les essais de vaporisation exécutés avec soin ont montré que la température du liquide est supérieure à la température d'ébullition tandis que les températures mesurées dans le milieu vapeur lui sont égales. Il en résulte que la vaporisation d'un liquide n'est possible que grâce à une surchauffe, le plus souvent très faible, du liquide par rapport à la température d'équilibre. La condensation au contraire serait due à un intra-refroidissement du liquide.

M. Walter FRITZ [15] confirme cette opinion et communique des résultats de vaporisation en bulles. Ces mesures ont toutefois été rendues difficiles par la faible épaisseur de la couche limite.

M. HEIDRICH [16] puis M. PRÄGER [28] ont repris ces expériences dans le cas de la vaporisation en surface libre, ce qui leur a permis d'expérimenter dans des meilleures conditions. Leurs mesures étaient exécutées au moyen de couples thermo-électriques placés au voisinage de la surface de vaporisation.

Dans les conditions de l'expérience, la masse du liquide était surchauffée d'environ 3°C . et à l'intérieur d'une couche limite d'environ 0,6 à 0,7 mm. La surchauffe du liquide tombait jusqu'à une valeur pratiquement nulle. L'auteur fait remarquer que c'est la pellicule de vapeur située au-dessus de la surface de séparation qui se trouve à la température de saturation.

Toutes les expériences que nous venons de citer concernent le cas de la vaporisation par chauffage du liquide et non l'évaporation d'un liquide froid en présence de vapeur non saturée.

M. BOSNIAKOVIC [5] déduit de la théorie cinétique des gaz que l'on doit observer une vaporisation lorsque la différence $\frac{P_f}{T_f^{1/2}} - \frac{P_v}{T_v^{1/2}}$ est positive (et une condensation en cas contraire).

p_f et T_f représentent la température et la pression d'une couche limite de vapeur saturée séparant un liquide (de température $T_l > T_f$) d'une masse gazeuse de tension de vapeur p_v à la température T_v .

II.4 - ECHANGES DE CHALEUR AVEC LES PAROIS. -

a/ - Cas des écoulements permanents en régime stabilisé.

Le point de la question a été fait par MM. G. RIBAUD, A. LEMONNIER et E. BRUN [33] [34] [35]

Ces échanges sont proportionnels d'une part à la surface de contact et à la différence de température entre le fluide et la paroi, d'autre part à un coefficient de transmission qui dépend de la nature de l'écoulement.

On distingue trois types d'écoulement :

- l'écoulement laminaire [33] caractérisé par le parallélisme des veines fluides.
- l'écoulement turbulent [34] caractérisé par une interpénétration des couches fluides à l'échelle macroscopique.
- les écoulements à grande vitesse [35] (vitesse relative entre le fluide et le solide supérieure à 10 m/sec.) dans lesquels " la température à un point du solide n'est plus celle du fluide voisin ".
- les observations des différents expérimentateurs sont très générales et peuvent être transposées d'un fluide à l'autre à condition de respecter les principes de la similitude mécanique.

M. BOSNIAKOVIC [5] montre que, d'après la théorie cinétique des gaz, le coefficient d'échanges de chaleur correspondant à des conditions de turbulence déterminées est, dans le cas de la vapeur sèche proportionnel à la pression du fluide et inversement proportionnel aux racines carrées de sa température absolue et de sa masse moléculaire. L'influence de ces deux derniers facteurs est généralement assez faible. Il indique dans le cas de la vapeur humide une formule faisant intervenir également la pression et la racine de la température absolue de saturation.

b/ - Cas d'un moteur à pistons.

Le fluide évoluant dans un moteur s'y trouve toujours à l'état de turbulence.

Le collecteur d'admission peut être assimilé à une tuyauterie mais l'écoulement y est pulsatoire et non permanent.

Dans les cylindres, nous nous trouvons en présence d'une masse fluide enfermée dans un espace à volume variable. Nous n'avons d'autre part aucune idée de la répartition des vitesses qui n'est pas uniforme.

En ce qui concerne les températures, M. EICHELBERG [13] et HUG [17] [18] ont montré à la suite de mesures exécutées sur moteur DIESEL industriel fonctionnant normalement qu'une pellicule de métal très mince au voisinage de la paroi du cylindre est soumise à une température variable.

M. HUG a, par extrapolation de mesures exécutées avec des couples thermo-électriques à 0,1 mm. de distance des parois, évalué l'amplitude de cette oscillation de température à 20°C environ. En fonction de la pénétration à l'intérieur du métal cette amplitude s'atténue suivant une loi exponentielle à exposant négatif.

M. EICHELBERG a su éliminer cette variation de température dans ses mesures de transmission de chaleur à travers les parois de moteurs DIESEL. Dans un moteur industriel, en effet, c'est la valeur globale de la chaleur évacuée qui est intéressante et non ses variations.

Il n'en va pas de même en ce qui nous concerne.

En résumé, il existe sur les échanges de chaleur par convection avec les parois des renseignements, établis dans le cas d'écoulements permanents, qui devront pouvoir être transposés au cas d'un moteur à piston lorsqu'on connaîtra le régime des vitesses du fluide emprisonné et les températures des parois intérieures du moteur.

La répartition des vitesses n'a pas encore pu être déterminée jusqu'ici. Il est d'ailleurs vraisemblable qu'elle varie d'une cylindrée à l'autre et qu'il faudra, en mettant les choses au mieux se contenter de moyennes statistiques.

M. EICHELBERG et ses disciples ont montré que la température des parois intérieures du moteur varie fortement en cours de compression et de détente mais ils n'ont pas pu s'approcher de plus de 0,1 mm. alors que nous croyons qu'il faudrait s'en approcher de 0,01 mm. et peut-être davantage.

En attendant que ces problèmes de la plus haute difficulté technique aient pu être résolus il est probable qu'il faudra se contenter longtemps encore de renseignements indirects du genre de ceux que nous avons pu déduire de nos mesures de température de la masse emprisonnée.

PREMIERE PARTIE

MATERIEL EXPERIMENTAL

PRECISION DES MESURES

--:--:--:--:--

CHAPITRE III

MOTEUR EXPERIMENTAL

MESURES DES DEBITS ET DES PRESSIONS

Le matériel expérimental comporte spécialement :

- un moteur expérimental,
- un appareillage de mesure des débits d'air et de carburant,
- un appareillage pour la mesure des pressions,
- un appareillage pour la mesure des températures rapidement variables.

III.1 - MOTEUR EXPERIMENTAL. -

a/ - Description générale.

Le moteur utilisé est un moteur CFR [49] comportant quelques particularités.

Le moteur CFR est un moteur monocylindre à culbuteurs dont on peut faire varier le taux de compression entre 4,5 et 10/1 par déplacement de la culasse.

La culasse du moteur monocylindre CFR comporte deux orifices filetés, l'un destiné à la bougie d'allumage, l'autre à l'aiguille sauteuse d'enregistrement de la détonation. Ces deux orifices peuvent recevoir au cours de nos essais, l'un le capteur de pression, l'autre le capteur de températures, ce qui permet d'effectuer des enregistrements simultanés, sur un même cylindre.

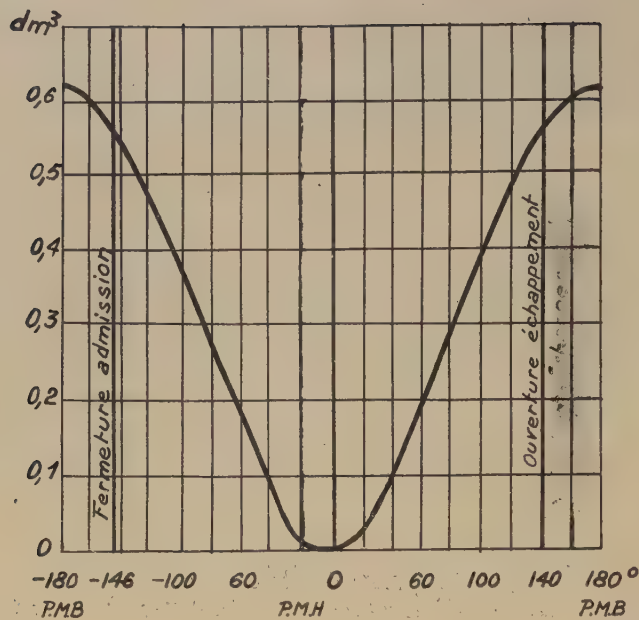


Fig.III.1: Espace offert dans un cylindre de moteur CFR non tenu compte de l'espace mort, en fonction de l'angle de manivelle.

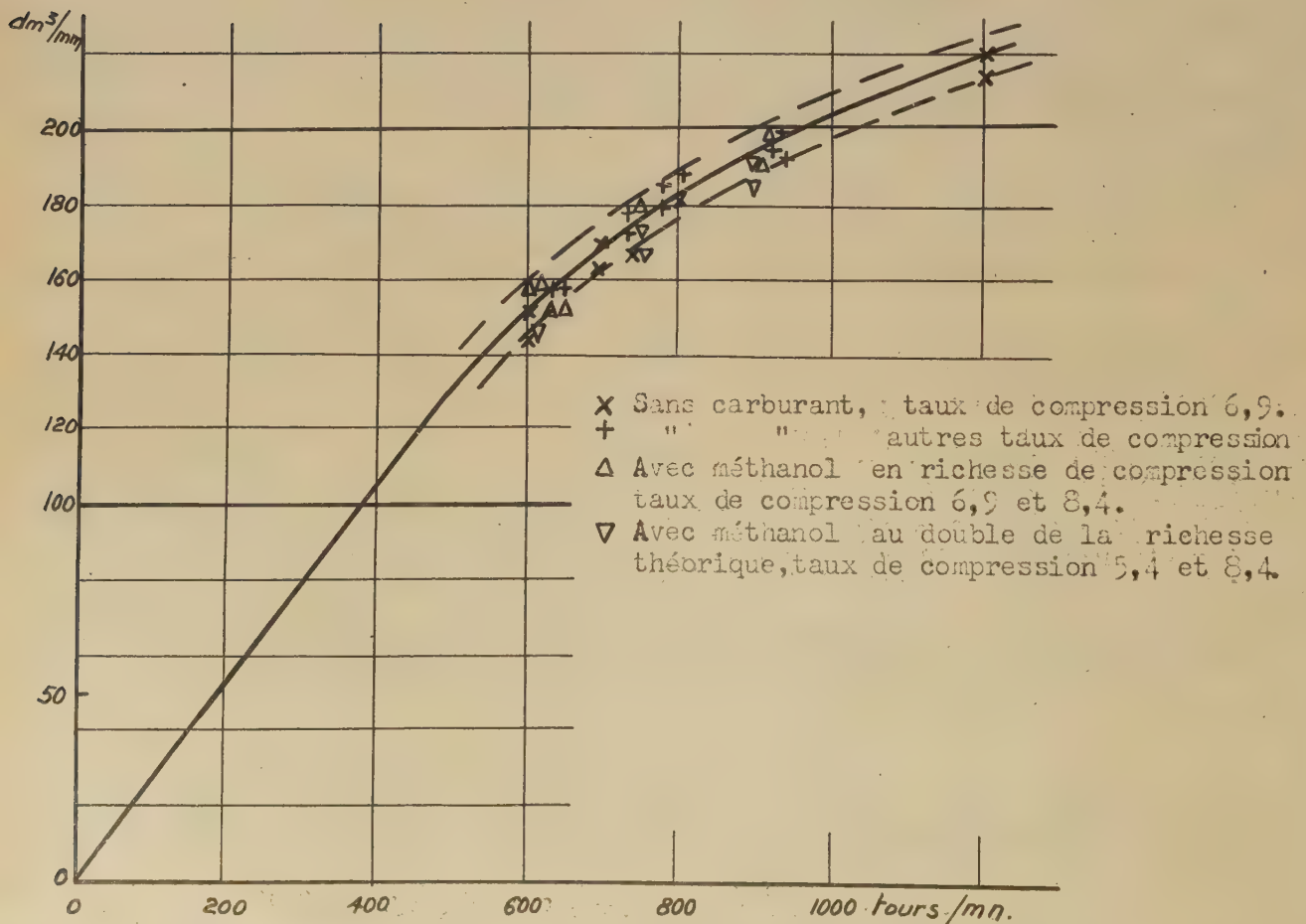


Fig.III.2: Courbe volumétrique de débit d'air en fonction de la vitesse d'un moteur CFR, fonctionnement en aspiration avec et sans carburant.

Les caractéristiques du moteur sont les suivantes :

Alésage 82,55 $\pm$ 0,05 mm.
 Course 114,3 $\pm$ 0,05 mm.
 Rapport bielle/manivelle 5/1

L'ouverture de la soupape d'admission a lieu 10° après le point mort haut et sa fermeture 34° après le point mort bas. L'ouverture de la soupape d'échappement a lieu 40° avant le point mort bas et sa fermeture 15° après le point mort haut.

Il résulte de ces caractéristiques que :

La surface du piston est : 53,5 cm² $\pm$ 0,12 %
 Le volume de cylindrée : 0,612 dm³ $\pm$ 0,17 % soit $\pm$ 1 cm³

Nous avons représenté sur la figure III.1 le volume offert, non tenu compte de l'espace mort en fonction de l'angle de manivelle (précision $\pm$ 1 cm³).

b/ - Espace offert et taux de compression.

Le moteur étant calé au point mort haut dans la position " soupapes fermées " on mesure le volume de l'espace offert en fin de compression en le remplissant d'eau par l'orifice de l'indicateur de cognement.

L'erreur absolue sur cette mesure est inférieure à $\pm$ 1 cm³. La position de la culasse est repérée au moyen d'une réglette verticale graduée en dixièmes de pouces avec micromètre.

Les essais sont exécutés pour les positions de culasses correspondant aux lectures suivantes sur la réglette :

5 2 1/2 1 0

Les volumes d'espace mort sont respectivement : 138 104 83 70 cm³

Avec une erreur absolue de $\pm$ 1 cm³ soit une précision de : $\pm$ 0,7 1,0 1,25 1,5 %

L'espace offert à un instant quelconque est obtenu en augmentant la lecture faite sur la figure III.1 de la valeur de l'espace mort.

Le taux de compression, c'est-à-dire le rapport volumétrique entre les espaces offerts en fin d'aspiration et en fin de compression, a respectivement les valeurs suivantes lorsque les erreurs sur le volume de cylindrée et sur l'espace offert en fin de compression sont en sens contraire :

	$5,4 \pm 0,04$	$6,9 \pm 0,065$	$8,4 \pm 0,1$	$9,75 \pm 1,4$
précision :	$\pm 0,7$	± 1	$\pm 1,2$	$\pm 1,4 \%$

c/ - Collecteur d'admission.

La tuyauterie de réchauffage d'air d'admission du moteur CFR a été remplacée par une tubulure droite sans réchauffeur munie de prises de température pour thermomètre à mercure et pour capteur à variation de résistance électrique.

Cette tubulure qui tient lieu de collecteur d'admission a été calorifugée.

Son diamètre est : 33 mm. sa longueur : 250 mm.

d/ - La tuyauterie d'échappement du moteur CFR a été complétée par un brûleur parce que le mélange aspiré et refoulé sans allumage, ne pouvait sans danger d'explosion être envoyé dans le collecteur de gaz d'échappement de la Station d'essais. Le brûleur était constitué par un Venturi avec grille HECKER. Une veilleuse à gaz de ville assurait la permanence de la combustion.

e/ - Le carburateur est d'un modèle spécial à débit réglable. L'arrivée d'air se fait par un orifice à section constante, celle de carburant par un gicleur unique. On peut régler la richesse du mélange carburé en élevant plus ou moins la cuve à niveau constant. Un niveau à tube indique la hauteur de charge du carburant au-dessus du gicleur.

Diamètre de la buse du carburateur : $9/16'' = 14,3$ mm.

Section de passage de l'air : $1,3$ cm²

f/ - Réglage de la vitesse du moteur.

Le moteur électrique entraînant le moteur CFR utilisé pour nos essais est muni d'un rhéostat de champ permettant de faire varier la vitesse d'entraînement à partir de 600 tours par minute.

La constance de vitesse du moteur est maintenue dans les limites de $\pm 1 \%$.

Les indications du tachymètre du moteur CFR ont été contrôlées au moyen d'un tachymètre étalonné. Elles sont exactes à ± 5 tours/minute près.

Les erreurs sur la vitesse du moteur sont donc respectivement :

+	1,8	1,7	1,6	1,4 %
à	600	750	900	1200 t/minute.

g/ - Système de réfrigération et contrôle de la température de la masse du moteur -

Le moteur CFR est à refroidissement indirect, la réfrigération des cylindres s'effectuant en circuit fermé par thermosiphon entre la chemise du moteur et un réfrigérant par surface à double circulation d'eau.

Nos premiers essais ont été exécutés en ouvrant toujours de la même quantité le robinet de circulation de l'eau de refroidissement du moteur. Nous laissions tourner jusqu'à stabilisation de la température.

Le degré de stabilisation des états thermiques du moteur était contrôlé par la température de l'eau de circulation mesurée par un thermomètre placé entre la sortie du réfrigérant et l'entrée dans la chemise du cylindre.

D'autre part, la température de la masse du moteur et celle du collecteur d'admission étaient contrôlées par deux thermo-couples placés, l'un sur la culasse, à l'emplacement de l'aiguille sauteuse, l'autre près de la sortie du collecteur d'admission.

Une déviation du millivoltmètre de 0,1 mV correspondait à une variation de température de $2,7^{\circ}\text{C} \pm 5\%$.

Nous avons dû renoncer à stabiliser ces températures à une valeur précise car toutes choses égales d'ailleurs, la stabilisation, d'un jour à l'autre, ne s'effectuait pas à la même température exactement. Nous avons essayé de modifier cette température en agissant sur le robinet d'eau de refroidissement mais cette manoeuvre s'est révélée à peu près sans effet, que le robinet soit ouvert en grand ou complètement fermé.

L'écart entre la température extérieure et la température de la culasse est également irrégulier.

Il est probable qu'étant donné la température relativement basse de la masse du moteur, la plus grande partie de la chaleur cédée aux parois se répartit dans cette masse suivant une loi mal définie.

III.2 - MESURE DES DEBITS D'AIR ET DE CARBURANT. -

a/ - Mesure des débits d'air.

L'air admis dans le moteur CFR provient du gazomètre de la Station

de Recherches [29] constitué par une cloche en aspiration équilibrée de 7 m³ de contenance. La dépression dans la tuyauterie d'aspiration est négligeable.

Une descente de la cloche de 270 mm. correspond à un volume d'air aspiré par le moteur de 1 m³. Chaque mètre cube et quelquefois chaque demi mètre cube aspiré est signalé par l'allumage d'une lampe commandé par un contacteur solidaire de la cloche.

La position des contacts est exacte à ± 1 mm. près soit $\pm 0,37$ %. La détermination du temps de descente de la cloche comporte une erreur de 1/2 seconde ou 0,01 minute au début et à la fin de chaque mesure. Elle porte sur un temps variant entre 5 et 6 minutes. Elle est donc de l'ordre de $\pm 0,4$ %.

L'erreur sur le débit-volume est donc de $\pm 0,8$ % à condition que la vitesse du moteur soit connue exactement.

Les débits-volumes d'air ont été mesurés en fonction de la vitesse du moteur sans carburant et avec méthanol en richesses 1 et 2, le taux de compression étant successivement 5,4, 6,9, 8,4, 9,75.

Les résultats sont représentés sur la figure III.2. Quel que soit le taux de compression les points se sont alignés avec et sans carburant à l'intérieur d'une plage correspondant assez exactement aux limites d'erreurs calculées.

b/ - Mesure des débits de carburants.

Le carburant était renfermé dans un récipient de Mariotte muni d'une burette de 25 cm³. Le tuyau d'écoulement était engagé sans jeu dans l'orifice de communication entre la cuve à niveau constant et son réservoir de carburant.

Le débit de carburant était réglé par le diamètre du gicleur et par la hauteur de la cuve à niveau constant du carburateur. Il était contrôlé par la mesure du temps d'écoulement entre deux repères.

L'erreur absolue sur cette mesure est inférieure à $\pm 0,3$ sec.

Les ordres de grandeur des temps d'écoulement sont les suivants :

avec le méthanol	30 à 40 sec en richesse 1.
	15 à 20 sec en richesse 2.
avec l'éthanol (à 750 t/mn)	50 sec en richesse 1.
	25 sec en richesse 2.

Les erreurs relatives sur les richesses sont donc comprises entre 3 et 4 %.

III.3 - MESURE DIRECTE DES MAXIMA ET DES MINIMA DE PRESSION AU MOYEN D'ACROMETRES. -

Les mesures de pression par enregistrement de diagrammes que nous décrivons plus loin sont délicates à exécuter et assez longues à interpréter. C'est pourquoi il est utile de les recouper par des mesures plus simples ou de leur substituer la mesure directe de certaines valeurs extrêmes quand la totalité du diagramme n'est pas nécessaire.

Nous avons mesuré de cette manière la pression en fin de compression et le maximum de dépression dans le collecteur d'admission.

a/ - Mesure de la pression en fin de compression au moyen de l'acromètre du moteur C.F.R.

Nous utilisons l'acromètre livré avec le moteur C.F.R. C'est un manomètre métallique à tube de construction courante, avec graduation en livres par pouce carré et muni d'une valve empêchant la pression dans l'appareil de redescendre une fois atteinte.

L'appareil a été étalonné par comparaison avec un manomètre étalon gradué en Kg/cm².

1 lb/"² correspond à 0,070. 3 Kg/cm² ou 6,9 pz

L'erreur sur la lecture de l'acromètre est $\pm 1 \text{ lb/"}^2$ soit $\pm 7 \text{ pz}$.

L'erreur sur la lecture du manomètre étalon est $\pm 0,1 \text{ kg/cm}^2$ soit $\pm 10 \text{ pz}$.

L'erreur d'étalonnage de l'acromètre par rapport à un manomètre gradué en Kg/cm² est donc $\pm 17 \text{ pz}$.

Les indications de l'acromètre peuvent être affirmées dans la limite de l'exactitude des lectures ($\pm 7 \text{ pz}$) et de la précision d'étalonnage ($\pm 17 \text{ pz}$) soit au total $\pm 24 \text{ pz}$.

b/ - Mesure du maximum de dépression dans le collecteur d'admission au moyen d'un acromètre de dépression.

Nous avons réalisé pour cette mesure un acromètre en dépression constitué par un manomètre à mercure recevant la dépression à mesurer par l'intermédiaire d'une valve.

Cet appareil très simple convient bien pour la mesure des maxima de dépression dans le collecteur d'admission sans carburant et avec carburant à condition de s'assurer que le liquide ne vient pas obstruer la tubulure de prise de pression.

Nous avons essayé d'utiliser l'appareil pour mesurer le maximum de dépression dans le cylindre mais les résultats ont été incohérents probablement parce que la valve n'avait pas le temps de suivre la montée en pression

dans le cylindre.

Les erreurs de mesures de la dépression portent sur la lecture de deux niveaux de mercure, soit 2 fois 2 mm. de mercure ou : $\pm 0,5$ pz.

III.4 - ENREGISTREMENTS DES PRESSIONS AU MOYEN DU MANOGRAPHE STROBOCATHODIQUE. -

a/ - Description du manographe. [40]

L'appareil est constitué par un système d'alimentation agissant sur les plaques d'un oscillographe cathodique. La luminosité du spot est commandée par un capteur de pression à membrane, agissant sur le cylindre de WENHOLT de l'oscillographe. La face inférieure de la membrane est en relation avec la pression dans le moteur, l'autre face est soumise à une contre-pression réglable à la demande de l'expérimentateur entre un vide d'environ 50 % et une pression de l'ordre de 20 hpz.

Le capteur établit le contact entre une source de courant et la masse et rend ainsi le spot lumineux pendant toute la période où la pression à l'intérieur du cylindre est supérieure à la contre-pression au-dessus de la membrane. Une variante de réalisation consiste à détecter et enregistrer sur l'oscillographe le courant d'établissement et de rupture de contact du capteur. Il est indispensable d'adopter cette disposition lorsque l'examen des diagrammes doit comporter l'étude des phases d'aspiration et de refoulement à cause de la superposition des enregistrements. La détection présente toutefois le gros inconvénient de détériorer rapidement la membrane du capteur.

La position du spot sur l'axe vertical de l'écran est commandée par la contre-pression au-dessus du capteur par l'intermédiaire d'un relais à capacité variable. Un manomètre placé à côté du capteur contrôle cette contre-pression.

Le collecteur reliant le capteur au relais de commande du cadrage vertical est en communication avec une bouteille d'air comprimé, une pompe à vide et un robinet de communication à l'air libre. Un contacteur à main fermant le circuit d'excitation du cylindre de WENHOLT permet d'enregistrer le passage de la contre-pression aux valeurs repères que l'on s'est fixées.

Nous avons adopté deux réglages d'amplification du cadrage vertical correspondant à des conditions d'utilisation différentes du manographe :

- une faible amplification permettant de recevoir la totalité du diagramme de pression sur l'écran du tube cathodique, y compris la pression en fin de compression.
- une forte amplification utilisée pour l'étude des phases d'aspiration et de refoulement. Dans ce dernier cas les pressions en fin de compression sortent des limites de l'écran.

b/ - Le balayage horizontal du tube cathodique est commandé par un potentiomètre

à curseur tournant système ZEISS [41] monté en bout d'arbre du moteur. Le curseur se déplace devant une résistance de forme telle que le déplacement horizontal du spot du tube cathodique soit proportionnel à la course du piston. On peut régler le calage du curseur pour que le balayage soit en phase avec la course du piston ou décalé par rapport à elle. La partie la plus précise des enregistrements se trouve en effet au voisinage du milieu de la course du curseur.

c/ - Étalonnage du capteur de pression.

La pression mesurée au-dessus du capteur doit être majorée de la surpression nécessaire pour amener la membrane à la position de contact. L'étalonnage du capteur de pression se fait en laissant la partie inférieure du capteur en contact avec l'atmosphère et en créant au-dessus de la membrane une dépression mesurée par un manomètre à mercure. On met le manographe en service, on augmente progressivement le vide au-dessus de la membrane et on note la dépression correspondant à l'apparition du contact. On répète l'opération en réduisant progressivement le vide.

La mesure a été répétée en mettant la partie supérieure du capteur à l'air libre et la partie inférieure en surpression. La reproductibilité des étalonnages a été vérifiée avec une concordance de ± 15 mm. de mercure soit ± 2 pz.

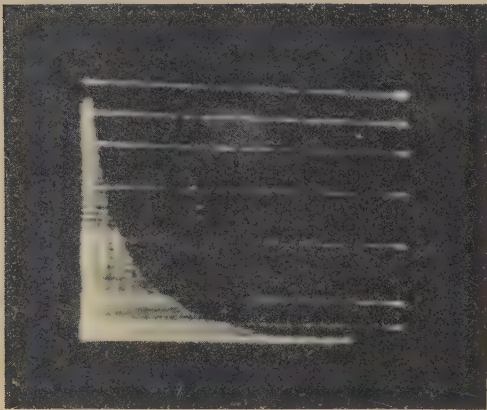
Il n'y a pas intérêt à abaisser exagérément la constante des capteurs de pression, car c'est le plus souvent au détriment de leur fidélité. Les essais comportant des enregistrements en basse pression ont été exécutés avec des capteurs exigeant une surpression voisine de 30 pz soit environ $0,3 \text{ Kg/cm}^2$. Les mesures comparatives de pression en fin de compression avec et sans méthanol qui ne comportaient pas de relevés en basse pression ont été exécutées avec un capteur ayant une constante de 1,05 hpz.

d/ - Enregistrements de pressions en cours de compression et de détente.

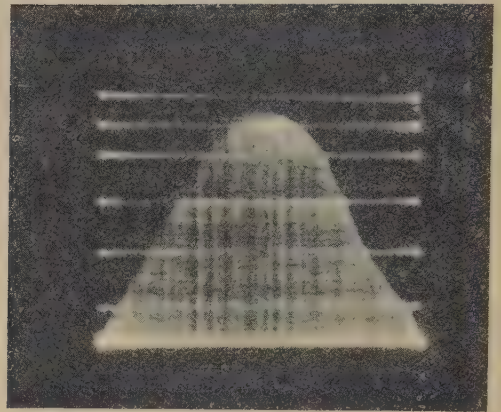
La pression au-dessus du capteur était mesurée par un manomètre métallique gradué en Kg/cm^2 effectifs dont l'exactitude a été contrôlée à $\pm 0,05 \text{ Kg/cm}^2$ près. Le passage de l'aiguille du manomètre en face de graduations du cadran était enregistré de 2 en 2 Kg/cm^2 ; généralement cette opération comporte une erreur personnelle de $\pm 0,1$ hpz.

Les films sont lus sur un appareil agrandisseur donnant aux traits une épaisseur de 4 mm. ce qui correspond en fin de compression à une précision de $\pm 0,15$ hpz sur la lecture des traits d'étalonnage ainsi que sur la lecture du diagramme.

En conséquence, les pressions effectives résultant de l'interprétation des diagrammes strobo-cathodiques au voisinage du maximum de

Fig. III 3

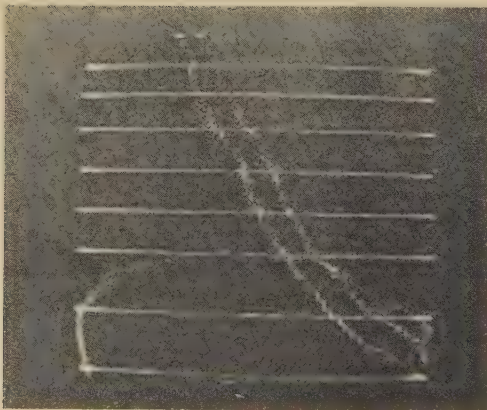
Enregistrement non décalé

Fig. III 4

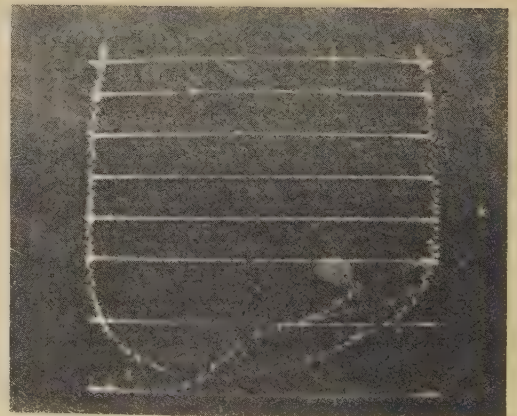
Enregistrement décalé

Fig. III 3 et 4

Exemples d'enregistrements de pression en cours de compression et de détente de l'air seul.

Fig. III 5

Enregistrement non décalé

Fig. III 6

Enregistrement décalé

Fig. III 5 et 6

Enregistrements de pression en cours de refoulement et d'aspiration de l'air seul.

de pression sont déterminées avec une exactitude de $\pm 0,5$ hpz.

Les erreurs sur la lecture du tracé du diagramme se traduisent par une imprécision de ± 2 degrés sur l'angle de manivelle dans la région précise du diagramme, c'est-à-dire 50 degrés environ de part et d'autre du milieu de la course.

A titre d'exemple nous reproduisons fig. III.3 un diagramme relevé en phase avec la course du piston, et fig. III.4 un diagramme décalé d'environ 90° dont la partie la plus précise se trouve au voisinage de la fin de compression.

e/ - Enregistrements de pressions dans les cylindres au cours des phases de refoulement et d'aspiration. -

La méthode opératoire diffère de la précédente en ce que la contre-pression au-dessus du capteur que l'on fait varier entre 0,5 hpz au-dessus de la pression atmosphérique et sur vide de 50 % environ, est mesurée par un manomètre à mercure.

La mise de contact par bouton-poussoir peut comporter une erreur personnelle de ± 3 mm. de mercure, soit : $\pm 0,5$ pz.

A cette erreur il faut ajouter :

L'erreur de tarage du capteur de pression ± 2 pz.
Les erreurs de lecture dues aux épaisseurs de traits ...
... des horizontales de contrôle de contre-pression ± 2 pz.
... et du tracé du diagramme ± 2 pz.

L'erreur totale sur la pression effective ou la dépression pendant les phases d'aspiration et de refoulement est donc :

$$\pm 5,5 \text{ pz} \quad (\pm 66 \text{ g/cm}^2)$$

Nous reproduisons sur les figures III-5 et 6 un enregistrement basse pression non décalé et un enregistrement décalé. Le trait vertical correspond à 20 degrés avant le point mort haut, nous verrons au paragraphe suivant comment il a été obtenu.

III.5 - REPERAGE DE LA POSITION DE L'ARBRE PAR RAPPORT AUX ENREGISTREMENTS DE PRESSION. -

a/ - But

Dans le cas d'enregistrements en basse pression un signal spécial est indispensable pour repérer la position de l'arbre.

Dans le cas d'enregistrement de pressions élevées, un signal du même genre, a l'avantage sans être indispensable de préciser clairement la

branche ascendante du diagramme.

b/ - Le principe du dispositif consiste à enregistrer l'étincelle d'un rupteur commandé par une came solidaire de l'arbre du moteur.

c/ - Réalisation.

Dans le cas des enregistrements de pression, l'étincelle est produite par la rupture d'allumage du moteur CFR qui n'a pas son emploi normal pendant nos essais. Le courant de rupture attaque après détection le cylindre de WENHLETT de l'oscillographe et trace sur l'enregistrement une ligne verticale qui coupe la branche ascendante du diagramme.

d/ - Précision.

Le trait vertical ainsi tracé a une largeur voisine de 1,5 mm., ce qui correspond à une erreur de tracé de $\pm 1^{\circ} 1/2$; l'avance d'impulsion du contacteur est connue avec une précision de ± 2 degrés. La position de l'arbre correspondant au signal est donc connue avec une précision de $\pm 3 1/2$ degrés.

CHAPITRE IV

ENREGISTREMENT DES TEMPERATURES RAPIDEMENT VARIABLES AU MOYEN D'UN THERMOMETRE PAR VARIATION DE RESISTANCE ELECTRIQUE

IV.1 - GENERALITES. -

a/ - Documentation sur les instruments de mesures par variation de résistance.

L'appareil le mieux approprié pour la mesure de températures relativement basses et rapidement variables dans un milieu gazeux tourbillonnaire est un thermomètre par variation de résistance avec enregistrement électronique et filament mesureur non protégé [32] [42] .

Une première utilisation du thermomètre par variation de résistance à la mesure de températures rapidement variables est décrite par MM. W.T. DAVID et W. DAVIES du COLLEGE ROYAL de LONDRES [10] Des essais préliminaires exécutés à BELLEVUE [43] ayant donné des résultats encourageants nous avons poursuivi la mise au point de l'appareil en vue des mesures que nous allons décrire.

La différence de principe entre le thermomètre à résistance et l'anémomètre à fil chaud dont il est assez proche parent réside dans la valeur de l'intensité du courant traversant le filament mesureur. Notre thermomètre à résistance a été conçu en sorte que l'effet Joule dans le filament soit pratiquement nul. On peut sous cette restriction s'inspirer des travaux américains [11] relatifs à l'anémomètre à fil chaud dans l'étude du comportement du thermomètre à résistance.

b/ - Relation entre la température du filament mesureur et celle du milieu ambiant. -

Si nous appelons θ' la température du filament, θ celle du milieu ambiant, M la masse du filament, S sa surface extérieure, C sa chaleur spécifique, K le coefficient d'échanges thermiques entre le filament et le milieu extérieur, l'équation des échanges thermiques lorsque l'effet Joule est négligeable, est :

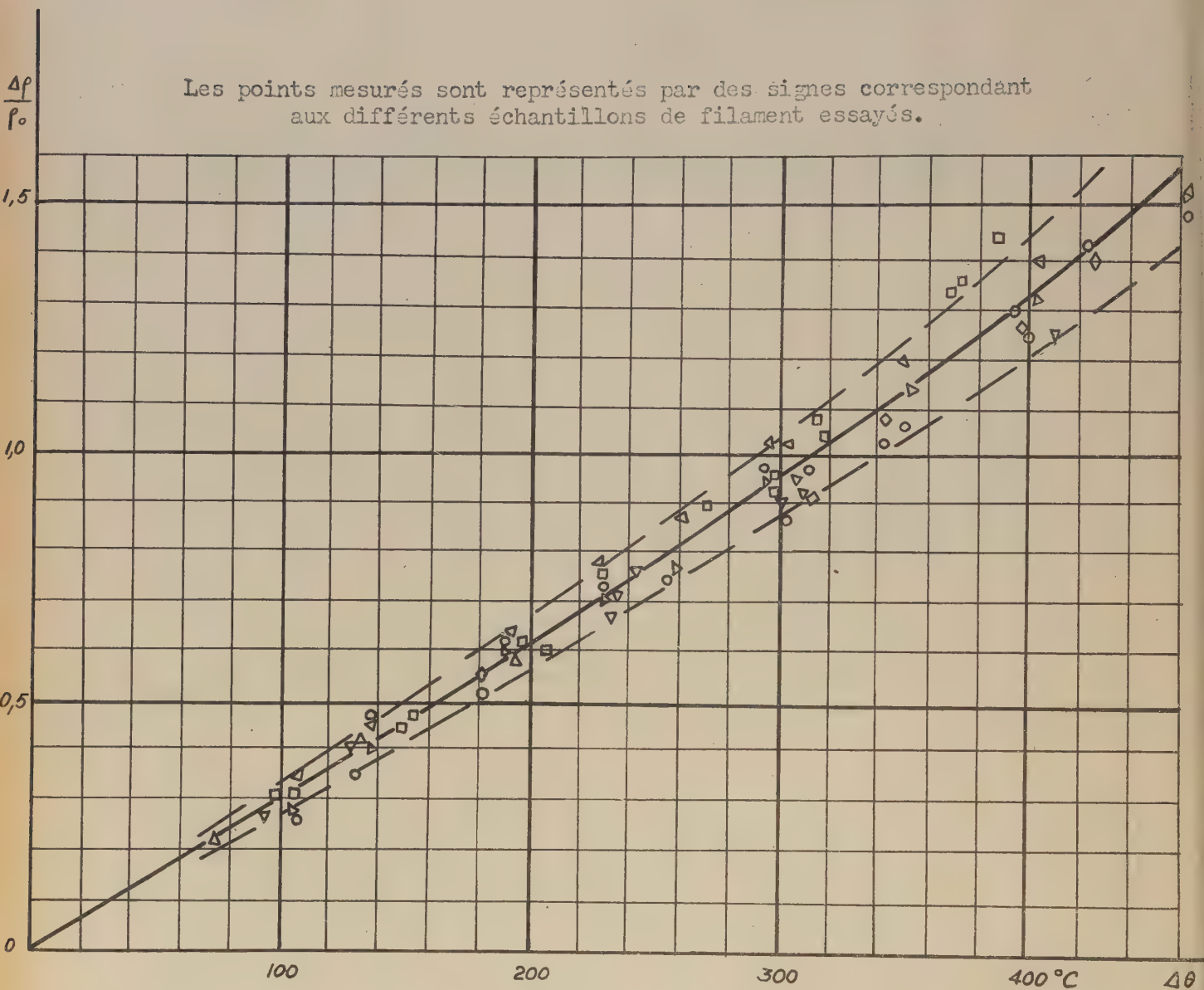


Fig. IV 1

Augmentation relative de la résistance électrique en fonction de l'élévation de température du filament mesureur d'un thermomètre par variation de résistance. Filament en alliage tungstène-molybdène recuit, de 0,04 mm de diamètre pris dans un même lot.

$$MC \frac{d\theta'}{dt} = K\xi (\theta - \theta')$$

Si la loi de variation de θ en fonction du temps est sinusoïdale, celle θ' est exprimée [43] par la somme d'un terme exponentiel qui tend rapidement vers zéro et d'un terme sinusoïdal de même fréquence, et déphasé par rapport à θ d'un angle ψ tel que :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{MC}{K\xi} \omega$$

D'une manière plus générale, si θ varie suivant une loi périodique quelconque développée en série de FOURRIER suivant la formule :

$$\theta = \theta_m + \sum A_z \cos z \omega t + \sum B_z \sin z \omega t$$

la loi de variation de θ' est :

$$\theta' = \theta_m + \sum A'_z \cos z \omega t + \sum B'_z \sin z \omega t$$

avec

$$A'_z = \frac{A_z - B_z \operatorname{tg} \psi_z}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi_z}$$

$$B'_z = \frac{A_z \operatorname{tg} \psi_z + B_z}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi_z}$$

et :

$$\operatorname{tg} \psi_z = \frac{MC}{K\xi} z \omega = z \operatorname{tg} \psi_1$$

C'est en réalité θ' que le dépouillement des diagrammes de température nous permet d'exprimer en série de FOURRIER. Si nous pouvons déterminer l'angle ψ_1 nous sommes en mesure de calculer chacun des coefficients de ψ dont l'expression est :

$$A_z = A'_z + B'_z \cdot z \operatorname{tg} \psi_1$$

et

$$B_z = B'_z - A'_z \cdot z \operatorname{tg} \psi_1$$

c/ - Influence des supports sur la température du filament mesureur d'un thermomètre à résistance.

Des calculs exécutés à BELLEVUE dans le cas d'une variation de température sinusoïdale [1] [26] montrent qu'on peut généralement négliger cette influence.

IV.2 - DESCRIPTION DU THERMOMETRE ENREGISTREUR PAR VARIATION DE RESISTANCE ELECTRIQUE DE LA STATION NATIONALE DE RECHERCHES CLAUDE BONNIER.

a/ - Dans son principe, l'appareil est constitué par un filament métallique de petites dimensions monté sur une branche d'un pont de Wheatstone dont la diagonale est reliée par l'intermédiaire d'un transformateur à l'entrée d'un oscillographe cathodique.

Les éléments constitutifs de l'appareil sont :

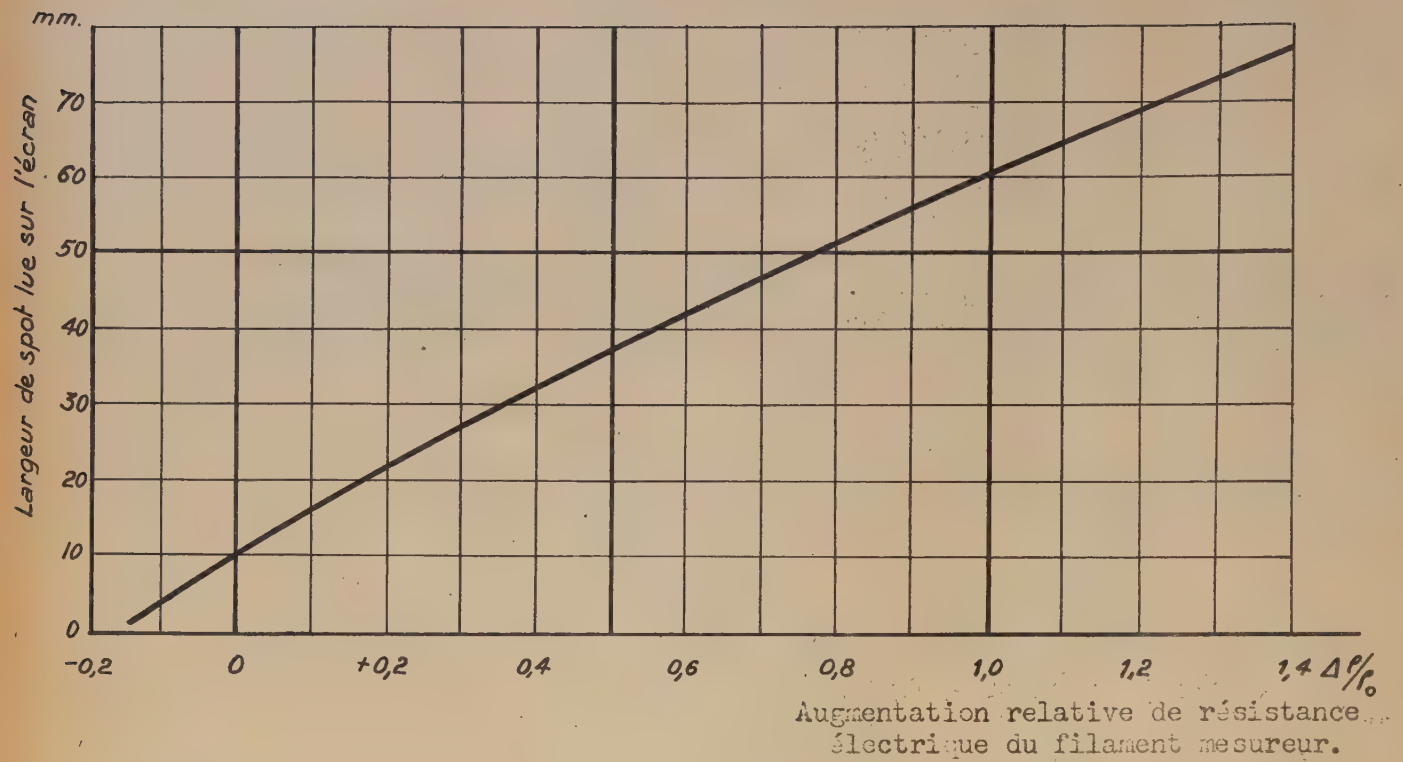


Fig. IV 2: Etalonnage électronique du thermomètre à résistance en vue de la mesure des températures dans le cylindre du moteur.

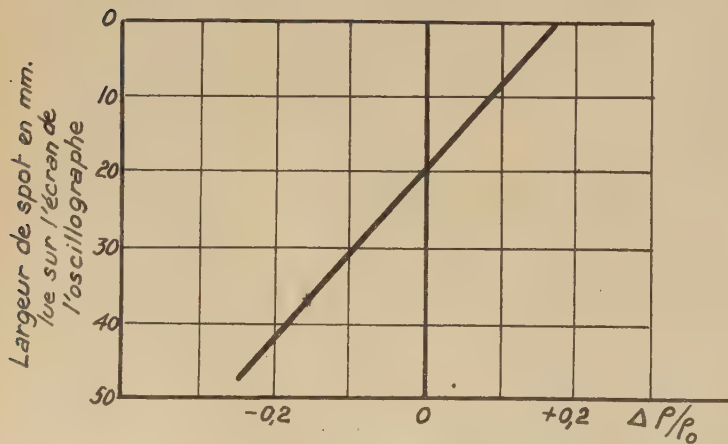


Fig. IV 3: Etalonnage électronique du thermomètre à résistance en vue des mesures de température dans le collecteur d'admission.

- le capteur de température,
- le système d'alimentation,
- le dispositif enregistreur.

b/ - Le capteur de température sur lequel est monté le filament mesureur se visse sur un trou de bougie. Les extrémités du filament sont fixées dans un trou légèrement conique par un rivet en cuivre rouge. Des considérations d'ordre mécanique nous ont fait adopter comme métal pour le filament un alliage tungstène-molybdène de 0,04 mm. de diamètre enroulé sur un diamètre d'environ 1 mm. Il nous a été livré recuit à 1.000°C.

Un jeu de résistances étalonnées, sans self, que l'on peut à tout moment substituer ou ajouter au capteur de température sert au réglage et au contrôle de l'appareil.

c/ - L'alimentation du pont de Wheatstone est faite en courant alternatif à 1000 périodes par un oscillateur comprenant un transformateur d'entrée, une valve, une lampe stabilovots, une lampe oscillatrice avec son système d'accord et un transformateur de sortie.

d/ - Le système enregistreur est constitué par un dérouleur de film continu placé en face de l'écran de l'oscillographe. L'oscillographe repose sur une table solidaire du dérouleur de film. Les enregistrements de température sont exécutés en fonction du temps, ce qui permet d'étudier la dispersion cyclique entre compressions successives. D'autre part l'absence de recouvrement permet d'alimenter l'oscillographe en courant non détecté, ce qui présente un certain nombre d'avantages : l'enregistrement de l'onde porteuse donne une mesure supplémentaire du temps et surtout la direction exacte des ordonnées par rapport au déroulement du film, d'autre part, le montage électrique étant plus simple les causes de dérèglement en cours d'opération sont moins nombreuses.

IV.3 - ETALONNAGE ET PRECISION DU THERMOMETRE A RESISTANCE. -

L'étalonnage de l'appareil comporte deux éléments distincts qu'il convient de considérer séparément. Ce sont :

- la résistance électrique du capteur en fonction de la température du filament.
- l'indication de l'oscillographe en fonction de la résistance électrique sur la branche du capteur.

a/ - Etalonnage du filament mesureur de température.

Le capteur est monté sur le couvercle d'une bombe de faible capacité intérieure, remplie d'azote, en légère surpression et l'ensemble placé

TABLEAU IV.A

Exemples de calculs d'erreurs sur le dépouillement des enregistrements de température en cours de compression (petites largeurs)

Désignation des erreurs	Stade opératoire	Unité	Ordre de grandeur de la mesure	par : étalonnage électrique	par : réglage optique	par : journée d'essai	par : lecture	Erreur
Erreurs sur les lectures	Lecture sur l'agrandisseur " film d'étalonnage "	mm.	70	-	-	-	-	±1
		mm.	210	-	±1	-	-	-
	Lecture sur l'écran	mm.	20	-	±0,3	-	-	±0,3
Erreurs sur l'évaluation des résistances	Variation de largeur sur écran	Ω	0,4	-	±0,01	-	-	±0,01
	de erreur de réglage élect.	Ω	0,4	-	-	-	±0,029	-
	sur l'évaluation de la résistance	Ω	0,4	±0,029	-	-	-	-
	Résistance de substitution	Ω	2,5	-	±0,05	-	-	-
Erreurs de résistance	Erreur sur l'augmentation relative de résistance	$\Delta\Omega/\Omega$	0,4/2,6	-	±0,004	-	-	±0,0115
			0,16	±0,0115	-	-	-	±0,004
Erreurs sur la détermination des températures	Erreurs sur (largeur sur écran)	°C	+50	-	±1,3	-	-	±1,3
	la résistance (réglage électrique)	°C	+50	±3,7	-	-	±3,7	-
	de capteur (résistance de subst.)	°C	+50	-	±6,5	-	-	-
	sur la détermination des températures	°C	+50	-	±2,8	-	-	-
	Température ambiante	°C	+20	-	-	±0,5	-	-
Erreurs de température	Total des erreurs	°C	+70	±3,7	±9,3	±0,5	±3,7	±1,3
	d° en % de la température absolue	%	343°K	±1,1	±2,7	±0,4	±1,1	±0,4

à l'intérieur d'un four électrique. On mesure la résistance électrique du filament au moyen d'un pont de mesures après stabilisation de la température dans l'enceinte gazeuse. Cette température est mesurée par un thermomètre à mercure auquel on applique la correction de colonne émergente.

Contrairement à ce qui se passe en milieu tourbillonnaire le filament est très long à prendre sa température dans un fluide au repos. On ne doit donc considérer la stabilisation des températures comme atteinte que lorsque l'indication du thermomètre à mercure et la résistance du filament sont toutes les deux stables. Cette stabilisation a pu être réalisée avec une précision de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à 300° d'élévation de température. Au-dessus de cette température l'erreur relative de stabilisation est de l'ordre de grandeur de 0,7 % de l'élévation de température.

Nous n'avons pas obtenu une meilleure précision en chauffant la bombe dans un bain liquide en ébullition. Par contre les condensations de vapeur sur le capteur et les arrivées de courant étaient des causes d'erreurs ou de détérioration. Nous en sommes donc restés au chauffage par four électrique.

Nous rassemblons sur la figure IV.1 les résultats d'un certain nombre d'étalonnages obtenus avec plusieurs filaments de même diamètre, même métal, même provenance, même lot. Nous avons porté en abscisses les élévations de température et en ordonnées les augmentations de résistance rapportées à la résistance à froid du capteur aussitôt après montage du filament. Les points obtenus se sont groupés autour d'une courbe moyenne comportant au-dessous de 300°C d'élévation de température une portion à peu près rectiligne dont la pente correspond à une augmentation relative de résistance de 0,31 % par degré.

Les erreurs absolues d'étalonnages du filament mesureur sont les suivantes :

- erreur sur la lecture des températures $\pm$ $0,5^{\circ}\text{C}$
- à laquelle il faut ajouter à chaud, pour tenir compte de l'incertitude sur la stabilisation de la température $\pm$ 2°C
- erreur sur la mesure de résistance $\pm$ $0,05 \Omega$
soit environ 2 % de la résistance à froid du capteur

La valeur absolue de cette erreur ne peut être que difficilement réduite à cause des résistances de contact.

Les dimensions du capteur ne permettent pas de diminuer de façon appréciable l'erreur relative par augmentation de la résistance à froid. Cette augmentation de résistance à froid ne peut avoir lieu qu'au détriment de l'écartement des spires. Un écartement insuffisant des spires présente plusieurs inconvénients :

- la circulation de gaz autour du filament se fait moins bien.
- le fil peut se distendre exagérément en cours de fonctionnement.

TABEAU IV.B

Calcul d'erreurs sur le dénouillement des enregistrements de températures en cours de compression (grandes largeurs)

Désignation des erreurs	Stade opératoire	Unité	Ordre de grandeur: de la mesure	Erreur						
				par étalonnage électrique	par capteur	par réglage optique	par journée d'essai	par film	par lecture	
Erreurs sur les lectures	Lecture sur agrandisseur	mm.	210	-	-	± 1	-	-	± 1	
	Largeur sur l'écran	mm.	60	-	-	± 0,8	-	-	± 0,5	
	Variation de (erreur de réglage	Ω	2,5	-	-	0,05	-	-	0,015	
	Résistance électrique	Ω	2,5	-	-	-	-	± 0,04I	-	
Erreurs sur l'évaluation des résistances.	(erreur sur étalonnage électrique	Ω	2,5	+ 0,04I	-	-	-	-	-	
	Résistance de substitution ..	Ω	2,5	-	± 0,05	-	-	-	-	
Erreurs sur la détermination des températures en °C	Erreurs sur l'augmentation relative de résistance	ΔΩ/Ω	2,5/2,5	± 0,0165	± 0,02	± 0,020	-	± 0,0165	± 0,007	
	Erreurs sur (largeur sur écran la résistance (réglage élec. du capteur	°C	313	-	-	± 5,6	-	-	± 2	
		°C	313	+ 4,6	-	-	-	± 4,6	-	
		°C	313	-	± 5,6	-	-	-	-	
		°C	313	-	± 16,5	-	-	-	-	
	Température ambiante	°C	± 20	-	-	-	± 0,5	-	-	
	Total des erreurs d° en % de la température absolue	°C	333	± 4,6	± 22,1	± 5,6	± 0,5	± 4,6	± 2	
		%	606°C	± 0,76	± 3,6	± 0,9	± 0,1	± 0,75	± 0,35	

- les spires qui sont moins écartées peuvent venir en contact puis se séparer à nouveau et créer ainsi une nouvelle cause d'erreurs.

Si donc nous considérons les points déterminés à la température ambiante et 300°C au-dessus de cette température, la pente de la courbe est connue avec une précision de $\pm 5,4^\circ\text{C}$ par 100°C d'élévation de température.

b/ - Étalonnage du dispositif électronique du thermomètre enregistreur.

On détermine la courbe d'étalonnage électronique de l'appareil en mesurant sur l'écran de l'oscillographe les largeurs de spot obtenues en mettant en série sur la branche du capteur un nombre variable de résistances étalonnées. Cette courbe résulte de deux caractéristiques de réglage électronique que l'on se fixe arbitrairement.

Ce sont :

- le réglage initial du pont de Wheatstone représenté par la largeur de spot lorsque le filament capteur est à la température ambiante.
- la tension d'alimentation que l'on vérifie en mesurant pour un réglage initial donné la largeur de spot obtenue en mettant en série avec le capteur une résistance additionnelle correspondant approximativement à la variation de température prévue.

Les deux caractéristiques de réglage sont contrôlées avant et après chaque prise de film en remplaçant le capteur par une résistance dite " de substitution " qui est égale à la résistance à froid du capteur. La résistance de substitution est exacte à $\pm 0,05 \Omega$ près.

L'appareil étant alimenté en courant non redressé, chaque largeur de spot correspond à deux valeurs de la résistance dans la branche du capteur. Il ne faut donc pas oublier de contrôler le sens de la variation de largeur par rapport à celui de la variation de résistance.

Les erreurs absolues pour chaque détermination sur l'appareil sont les suivantes :

- | | |
|--|----------------------|
| - erreur sur la lecture de la largeur de spot | $\pm 0,5 \text{ mm}$ |
| - variation des résistance de contact des fiches de la
boîte de résistances | $\pm 0,01 \Omega$ |

c/ - Lecture des enregistrements sur film.

Les films sont examinés sur un appareil de lecture de microfilm.

TABEAU IV.C

Exemple de calcul d'erreurs sur le dépouillement des enregistrements de température dans le collecteur d'admission

Désignation des erreurs	Stade opératoire	Unité	Ordre de grandeur de la mesure électrique	par que	par réglage du capteur	par jour de née	par lecture	Erreur
Erreurs sur les lectures	Lecture sur l'agrandisseur " film d'étalon. 8. 3	mm.	90	-	-	-	-	± 1
	Lecture ou correspondance sur l'écran	mm.	210	-	-	-	-	± 1
		mm.	26	-	-	-	-	± 0,25
				-	-	-	-	± 0,3
Erreurs sur l'évaluation des résistances.	Variation de largeur sur écran de résistance d'étalonnage électrique	Ω	0,13	-	-	-	-	± 0,005
	Résistance de substitution	Ω	0,13	-	-	-	-	± 0,018
	Erreur sur l'augmentation relative de résistance	$\Delta\Omega/\Omega$	0,13/2,5	-	-	-	-	± 0,007
			0,05	-	-	-	-	± 0,002
Erreurs sur la détermination des températures en °C.	Erreurs sur la résistance de réglage électrique	°C	15	-	-	-	-	± 0,6
	Résistance de substitution	°C	15	-	-	-	-	± 2,3
	Erreur d'étalonnage du capteur	°C	15	-	-	-	-	-
	Température ambiante	°C	+ 20	-	-	-	-	± 0,5
Total des erreurs		°C	+ 5	-	-	-	-	± 0,5
				-	-	-	-	± 2,3
				-	-	-	-	± 0,6

Etant donné l'épaisseur du trait, les lectures sont faites à ± 1 mm près. Le réglage optique de l'objectif du dérouleur de film est déterminé par le rapport entre la largeur de spot lue sur l'agrandisseur de film et la même largeur lue sur l'écran de l'oscillographe. Un étalonnage optique est donc valable tant qu'on ne déplace pas l'appareil.

Ce rapport est déterminé avec une précision de $\pm 1,4$ %.

d/ - Fréquence des erreurs.

Les erreurs dont nous venons de donner les éléments de détermination ne se renouvellent pas toutes avec la même fréquence. Le degré de fréquence des différentes erreurs est le suivant :

- l'erreur d'étalonnage du dispositif électronique est commise une fois pour toutes.
- la courbe d'étalonnage du filament mesureur de température peut à chaque changement de filament se déplacer dans les limites de précision des mesures ($\pm 5,4$ % de la variation de température).
- l'erreur sur la résistance de substitution se renouvelle également à chaque changement de filament ($\pm 0,05 \Omega$).
- l'erreur d'étalonnage du dispositif optique se renouvelle à chaque changement d'appareil.
- l'erreur sur la température ambiante se renouvelle chaque journée d'essais.
- l'erreur sur le contrôle du réglage électronique se renouvelle pour chaque film.
- enfin l'erreur de lecture se renouvelle pour tous les points d'un diagramme.

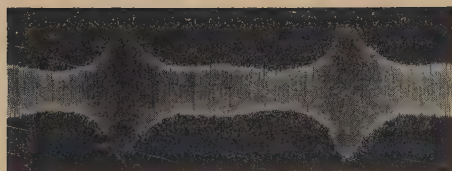
IV.4 - ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE DANS LE CYLINDRE. -

a/ - La courbe d'étalonnage électronique correspondant à ces enregistrements est représentée sur la figure IV.2. Elle indique qu'une augmentation de largeur de spot de 1,0 mm correspond à une augmentation relative de résistance de $0,015 \Omega$ pour 1Ω de résistance à froid au voisinage du réglage initial et 0,025 avec une résistance supplémentaire de 100 %.

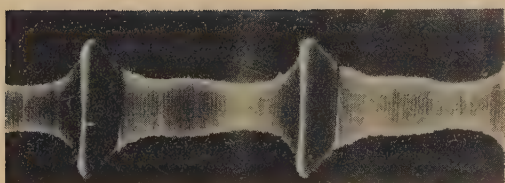
b/ - Le calcul d'erreurs est reproduit sur le tableau IV.A dans le cas des températures voisines de l'ambiance et sur le tableau IV.B dans le cas des grandes largeurs de spot.

Le total des erreurs peut atteindre $\pm 20^\circ$ aux basses températures et $\pm 38^\circ$ en fin de compression.

Ces chiffres très élevés résultent de ce que l'emploi du thermomètre à variation de résistance nécessite toute une série d'étalonnages et de

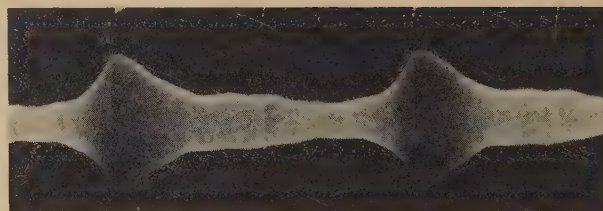
Fig. IV. 4

sans repérage de la position de l'arbre

Fig. IV. 5

avec repérage de la position de l'arbre

par suréclairement

Fig. IV. 6

par double enregistrement

Fig. IV. 4, 5 et 6

Exemples d'enregistrements de température en cours de compression de l'air seul dans un moteur C.F.R. avec et sans repérage de la position de l'arbre.

(taux de compression : 6,9 - Vitesse du moteur : 900 tours/mn.)

réglages dont les erreurs s'accumulent. Rapportées à la température absolue ces erreurs sont de l'ordre de $\pm 6\%$ ce qui nous ramène dans des limites acceptables.

IV.5 - ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION. -

La courbe d'étalonnage électronique est représentée sur la figure IV.3.

Etant donné que ce sont des diminutions de température qu'il s'agit, cette fois, de mesurer nous avons adopté un réglage électronique donnant une augmentation de largeur pour une diminution de résistance, à savoir : 1,0 mm d'augmentation de largeur pour une diminution de résistance de 0,009 Ω par ohm de résistance à froid.

Un calcul d'erreurs est reproduit sur le tableau IV.c.

L'augmentation de la sensibilité au réglage électronique n'améliore pas considérablement la précision des mesures à cause de l'importance des résistances de contact. On élimine par contre une grande partie de ces erreurs en comparant la moyenne des températures enregistrées avec l'indication du thermomètre à mercure placé sur le collecteur.

IV.6 - REPERAGE DE LA POSITION DE L'ARBRE PAR RAPPORT AUX ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE. -

Nous avons vu (IV.2) que le repérage de la position de l'arbre par rapport aux enregistrements doit permettre de reconstituer le diagramme véritable de température dans le moteur à partir du diagramme enregistré. La mesure, qui consiste à enregistrer l'étincelle d'un rupteur commandé par une came solidaire de l'arbre du moteur, est exécutée de l'un des deux manières suivantes :

a/ - Lorsque l'oscillographe permet l'inscription d'un seul phénomène, le signal est enregistré par un suréclairement obtenu en transmettant au cylindre de Wenhelt, par l'intermédiaire d'un transformateur l'impulsion du contacteur tournant.

En réalité l'enregistrement comporte deux suréclairements, l'un correspondant au début, l'autre à la fin de contact.

Le contacteur d'allumage ayant l'inconvénient de déformer l'enregistrement de température au voisinage des impulsions, nous avons monté un contacteur spécial à action brusque, en bout d'arbre du moteur CFR. Afin de faciliter la lecture du diagramme la came du contacteur a été réglée en avance sur le point mort haut. L'avance d'impulsion du contacteur était mesurée au top en faisant tourner le moteur à la main. Cette mesure a pu être exécutée avec une précision de ± 3 degrés d'angle.

Sur l'agrandisseur de film, la position du suréclairement peut être déterminée avec une précision de ± 2 degrés. L'erreur totale sur la détermination du déphasage est donc dans le cas présent de l'ordre de ± 5 degrés.

b/ - Lorsqu'on dispose d'un oscillographe à double commande pouvant enregistrer simultanément deux phénomènes différents, on repère le passage au point mort haut par le passage d'une lumière étroite devant une cellule photo-électrique. La concordance entre le passage de la lumière devant la cellule et le point mort haut peut être réalisée avec une précision de $\pm 0,5$ degrés.

L'erreur sur la lecture des enregistrements étant la même que précédemment, l'ensemble de la détermination est exécuté avec une précision de $\pm 2 \frac{1}{2}$ degrés.

Les figures IV.4,5 et 6 montrent des enregistrements de température sans repérage, puis avec repérage de la position de l'arbre par l'une et l'autre méthode.

c/ - La méthode de mesure adoptée a été déterminée par des considérations de matériel disponible, la seconde méthode étant nettement préférable à la première.

Nous avons pu disposer d'un oscillographe à double commande pendant un temps court que nous avons utilisé à mesurer le décalage d'enregistrements en cours de compression sans carburant.

Le déphasage avec carburant a été déterminé par comparaison d'enregistrements obtenus avec et sans carburant en utilisant la première méthode de repérage. La commande du suréclairement était systématiquement avancée afin de ne pas modifier l'enregistrement au voisinage du maximum de température.

Quelques enregistrements de température dans le collecteur d'admission ont été exécutés en repérant la position de l'arbre par la méthode de suréclairement.

IV.7 - CRITIQUE DU THERMOMETRE ELECTRONIQUE PAR VARIATION DE RESISTANCE. -

Notre thermomètre instantané par variation de résistance est un appareil récent dont nous espérons perfectionner certains éléments. Tel qu'il est il a permis d'obtenir les diagrammes de température très rapidement variables, et nous n'avons pas connaissance de la réalisation par d'autres moyens de mesure du même genre.

Comme tous les appareils ultra-sensibles, le thermomètre par variation de résistance exige de nombreux contrôles dont les erreurs s'additionnent.

Pour ces deux raisons les valeurs exactes des températures ne sont encore mesurées que d'une manière assez approximative. Il faut remarquer toutefois que si on rapporte les erreurs aux températures absolues en degrés Kelvin, on obtient une précision de $\pm 6\%$ qui est exploitable. D'autre part, une partie des erreurs d'étalonnages peut être éliminée lorsque l'interprétation porte sur des différences ou lorsqu'un point du diagramme a pu

être déterminé par une autre méthode.

Ces considérations semblent nous autoriser à exploiter dès maintenant les indications obtenues avec l'appareil tel qu'il est, étant entendu que nous continuons à le perfectionner.

Dans une note technique du C.R.A. sur l'anémomètre à fil chaud, M. RABOT [30] signale les importants services rendus par cet appareil malgré une précision encore faible.

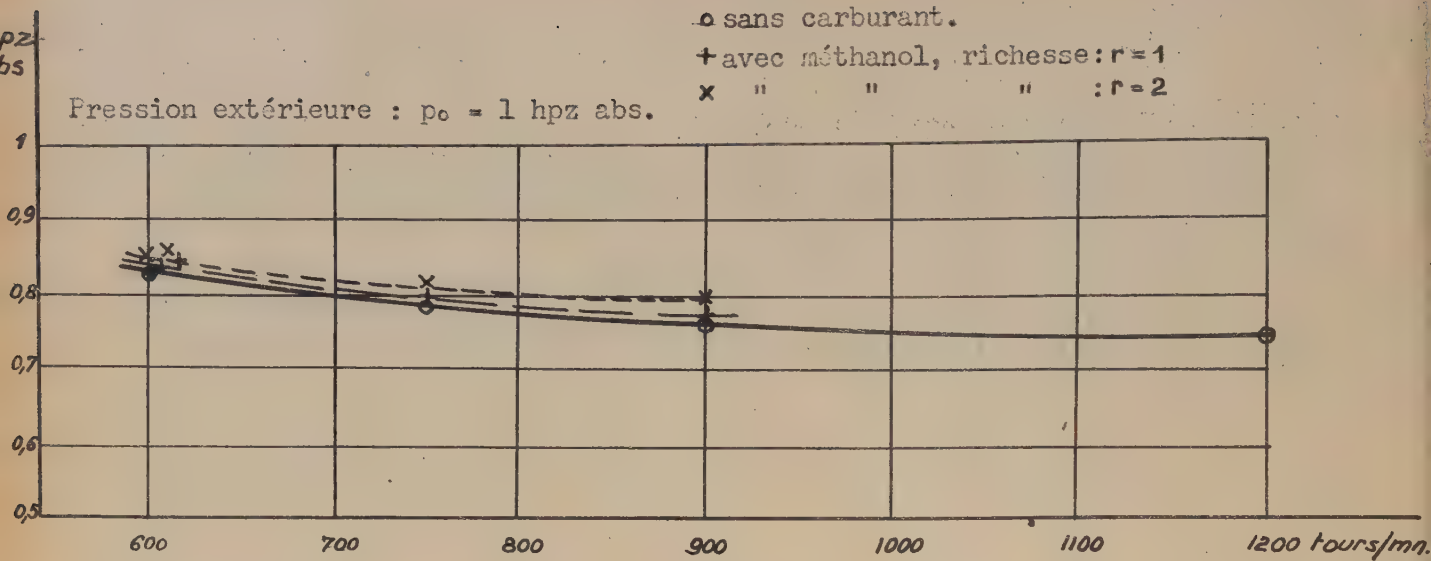


Fig. V 1

Pression absolue mesurée par l'acromètre en dépression dans le collecteur d'admission d'un moteur C.F.R. entraîné extérieurement en fonction de la vitesse du moteur.

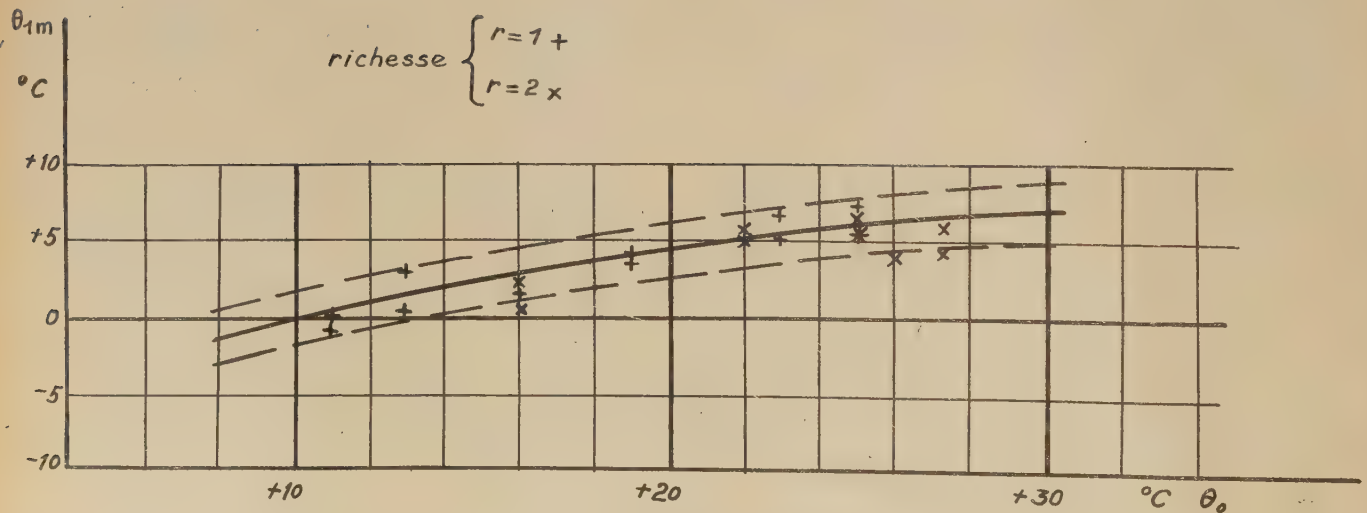


Fig. V 2

Température dans le collecteur d'admission avec méthanol, après stabilisation des échanges thermiques en fonction de la température ambiante,
 Vitesse du moteur variable entre 600 et 900 tours/mn.
 Taux de compression variable entre 5,4 et 8,4.

DEUXIEME PARTIE

MESURES DE PRESSION ET DE TEMPERATURE DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION D'UN MOTEUR MONOCYLINDRE

--:--:--:--:--

CHAPITRE V

RESULTATS EXPERIMENTAUX

V.I - INTRODUCTION. -

a/ - L'objet des mesures de pression et de température dans le collecteur d'admission porte sur les points suivants :

- éliminer la réserve valable jusqu'à maintenant que nos interprétations se basaient sur l'étude de valeurs moyennes ne correspondant pas au maximum de vaporisation dans le collecteur.
- préciser l'état du mélange aspiré au moment de son entrée dans le cylindre.
- déterminer l'influence des apports de chaleur sur la vaporisation dans le collecteur d'admission.

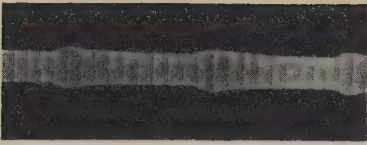
b/ - Les mesures exécutées ont été les suivantes :

- Mesures de pression dans le collecteur d'admission, sans carburant puis avec méthanol au moyen de l'acromètre en dépression.
- Mesure par thermomètre à mercure de la valeur moyenne des températures dans le collecteur d'admission, sans carburant puis avec méthanol.

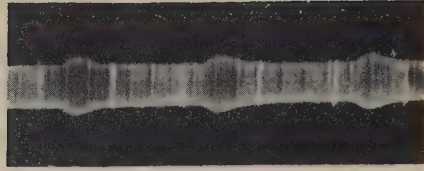
Ces mesures ont été complétées par des mesures de température dans le collecteur d'échappement afin de déterminer l'énergie reçue par le mélange aspiré pendant la traversée du moteur.

- Mesure par thermo-couples de l'écart de température entre le collecteur d'admission et la masse du moteur.

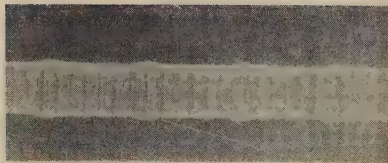
- Enregistrements au moyen d'un thermomètre à résistance de la température dans le collecteur d'admission d'un moteur monocylindre alimenté en air seul puis d'un mélange d'air et de méthanol en proportions théoriques.

Fig. V. 3

sans carburant
vitesse : 610 tours/mm.

Fig. V. 4

sans carburant
avec repérage de la position de
l'arbre 50° d'angle avant le point
mort-haut
Vitesse : 900 tours/mm.

Fig. V. 5

Avec méthanol en richesse 1
Vitesse : 900 tours/mm.

Fig. V. 3, 4, 5

Exemples d'enregistrements de températures dans le collecteur d'admission
d'un moteur C.F.R.

(taux de compression : 6,9)

Les largeurs maxima représentent les minima de température.

La majorité des enregistrements a été exécutée après stabilisation des températures dans le moteur. Quelques films sans carburant ont été enregistrés avant stabilisation des échanges thermiques.

V.2 - MESURE DE PRESSION DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION. -

Nous avons mesuré pour différentes vitesses de rotation du moteur et différents taux de compression le maximum de dépression dans le collecteur d'admission au moyen de l'acromètre en dépression.

Ces mesures ont été exécutées sans carburant, puis avec admission de méthanol en richesse 1 et 2.

Les résultats ont été traduits en courbes sur la figure V.I.

On voit que pour une vitesse de rotation donnée du moteur la pression dans le collecteur d'admission est pratiquement indépendante du taux de compression.

La présence de carburant a diminué très légèrement la dépression dans le collecteur d'admission.

V.3 - MESURE PAR THERMOMETRE A MERCURE DE LA TEMPERATURE MOYENNE AU COURS D'UN CYCLE. -

Cette mesure a été exécutée dans la tubulure d'admission et dans la tubulure d'échappement sans carburant et avec méthanol après stabilisation des températures dans le moteur aux vitesses de 600, 750 et 900 tours/minute avec les taux de compression : 5,4 - 6,9 - 8,4.

Les mêmes mesures ont été exécutées sans carburant à 750 t/mn, l'orifice de la bougie d'allumage ayant été laissé béant.

a/ - Les températures mesurées sans carburant étaient pratiquement indépendantes du taux de compression entre les taux de 5,4 et 8,4. Nous avons rassemblé dans le tableau V les différences entre les températures mesurées et la température extérieure.

TABLEAU V

		t/mn.	600	750	900
Vitesse d'entraînement du moteur					
Différence entre la température)					
dans le collecteur d'admission ($\theta_{1m} - \theta_0$)	°C		+16±2	+17±2	+19,5±2
et l'extérieur)					
Différence entre la température)					
dans le collecteur d'échappement ($\theta_{7m} - \theta_0$)	°C		+25±0,5	32,5±1,5	43 ± 3
et l'extérieur)					

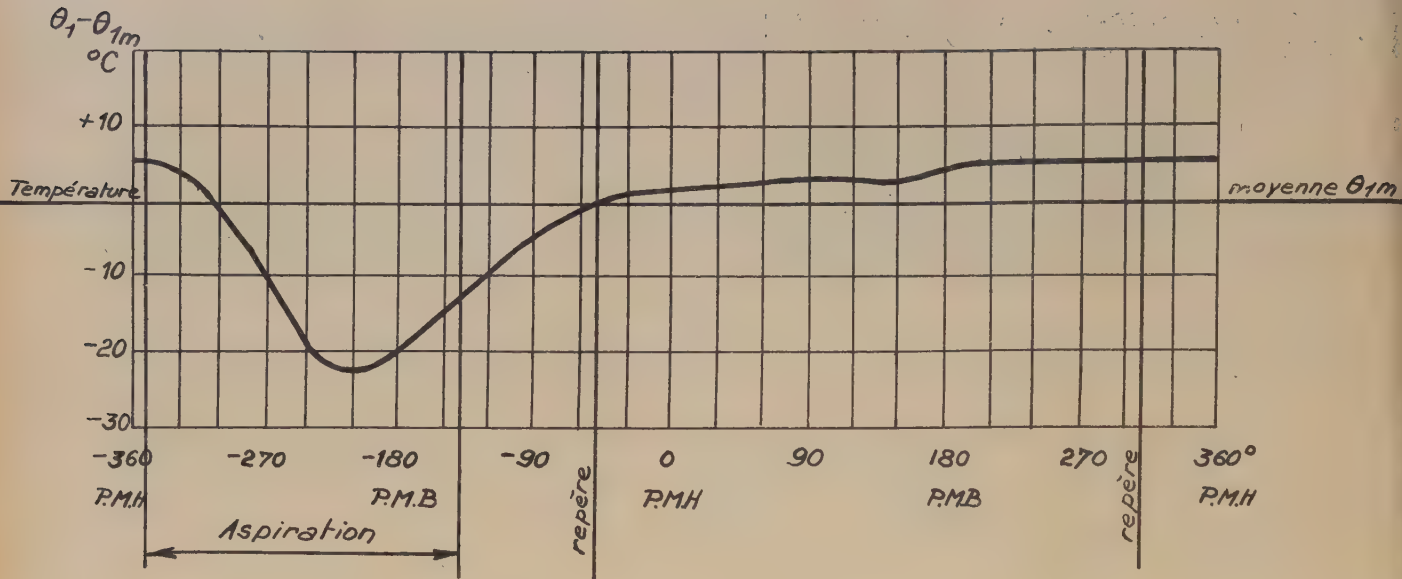


Fig.V.6: Variation de température par rapport à la température moyenne dans le collecteur d'admission d'un moteur monocylindre alimenté en air seul.
(taux de compression 6,9, vitesse de rotation : 900 t/mn)

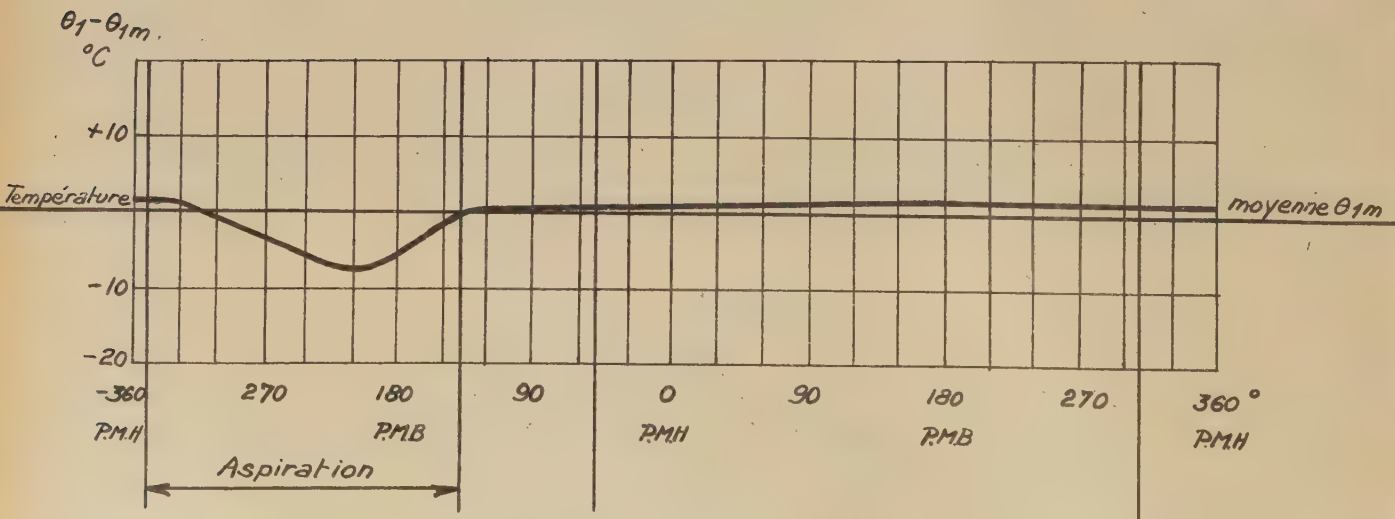


Fig.V.7: Variation de température par rapport à la température moyenne dans le collecteur d'admission d'un moteur monocylindre alimenté en mélange théorique air-méthanol.
(compression : 6,9, vitesse 600 à 900 t/mn)

Les températures mesurées, bougie enlevée, dans le collecteur d'admission et dans le collecteur d'échappement ont été inférieures d'environ 7°C aux températures correspondantes avec compression.

L'échauffement global de l'air, entre les deux collecteurs est donc le même avec et sans compression.

b/ - Les températures mesurées avec méthanol dans le collecteur d'admission ont été portées en fonction de la température extérieure sur la figure V.2.

Les points mesurés en richesse 1 se sont alignés suivant une courbe légèrement ascendante avec une dispersion de $\pm 2^\circ\text{C}$. L'influence du taux de compression et celle de la vitesse de rotation ont été inférieures à la dispersion des mesures.

Le passage à la richesse 2 a eu pour effet d'abaisser de 2°C environ la moyenne des températures mesurées.

c/ - Les températures mesurées avec méthanol dans le collecteur d'échappement se sont stabilisées, à peu près indépendamment de la vitesse du moteur et du taux de compression, un peu au-dessous de la température extérieure (le plus souvent 5 degrés).

V.4 - MESURES PAR THERMOCOUPLES DE LA TEMPÉRATURE DE LA MASSE DU COLLECTEUR D'ADMISSION ET DE CELLE DU MOTEUR.

La température de la masse du moteur s'est stabilisée au-dessus de l'ambiance à des valeurs variant entre 30 et 50°C dans le cas de la marche sans carburant, et entre 5 et 20°C avec méthanol en richesse théorique et au double de la richesse théorique.

L'écart entre la température de la masse du moteur et celle du collecteur d'admission s'est constamment maintenu dans les limites de $18 \pm 5^\circ\text{C}$.

V.5 - ENREGISTREMENTS DE TEMPÉRATURE DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION. -

Ces enregistrements ont été exécutés après stabilisation des échanges thermiques avec le taux de compression 6,9 à 600, 750 et 900 t/mn. sans carburant puis avec introduction de méthanol en richesse 1.

Quelques enregistrements ont été réalisés avec repérage de la position de l'arbre le signal ayant lieu 50° environ avant le passage au point mort haut.

a/ - Observations d'ensemble.

Quelques exemples d'enregistrements sont reproduits figures V.3, 4 et 5. Sur les figures V.6 nous avons représenté en fonction de l'angle de manivelle la différence entre la température instantanée de l'air seul dans le collecteur d'admission du moteur CFR et sa température moyenne pendant la totalité du cycle.

Les diagrammes correspondants avec carburant sont représentés sur la figure V.7.

Tous nos enregistrements ont révélé une variation régulière de la température dans le collecteur avec le cycle du moteur. Cette température est à peu près constante pendant tout le cycle sauf pendant le temps d'aspiration où elle baisse brusquement.

b/ - Dans le cas de l'alimentation sans carburant les minima de température sont inférieurs de quelques degrés à la température extérieure (5 environ). Ceci représente, après stabilisation des échanges thermiques, une amplitude de variation de température dans le collecteur d'admission de plus de 25°C.

c/ - Dans le cas de l'alimentation avec méthanol l'amplitude des variations de température était amortie de plus de moitié par rapport aux précédentes (7 à 9°C) suivant les enregistrements.

CHAPITRE VI

INTERPRETATION DES MESURES DE PRESSION ET DE TEMPERATURE DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION

VI.1 - ANALYSE GENERALE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX. -

a/ - Détermination de la masse d'air aspirée pendant un cycle du moteur. -

Cette masse est obtenue en divisant le débit volume lu sur la figure III.2 par la moitié de la vitesse de rotation du moteur et en multipliant le résultat par la masse spécifique de l'air atmosphérique, dont les conditions sont supposées ramenées à 1,0 hpz, 293°K, soit 0,041 mol/dm³.

Quel que soit le taux de compression la masse d'air aspiré est :

0,0177 mole	à	900 t/mn
0,0193 mole	à	750 t/mn
0,0208 mole	à	600 t/mn

b/ - Examen des diagrammes de température dans le collecteur d'admission d'un moteur monocylindre alimenté en air seul.

La chaleur apportée au collecteur par la masse du moteur est loin d'être négligeable même dans le cas d'un entraînement sans compression, ce qui montre l'importance des frottements. Cette circonstance qui se retrouve dans un moteur réel, est favorable à la vaporisation dans le collecteur.

On remarque une assez bonne concordance entre les diagrammes obtenus aux différentes vitesses. La température se maintient à peu près constante sauf pendant le temps d'aspiration où elle baisse très rapidement jusqu'à une température inférieure à celle de l'air extérieur.

L'air aspiré à travers la buse du carburateur franchirait donc le collecteur d'admission en se mélangeant peu avec l'air qui s'y trouverait enfermé et viendrait refroidir brusquement le filament du thermomètre à résistance.

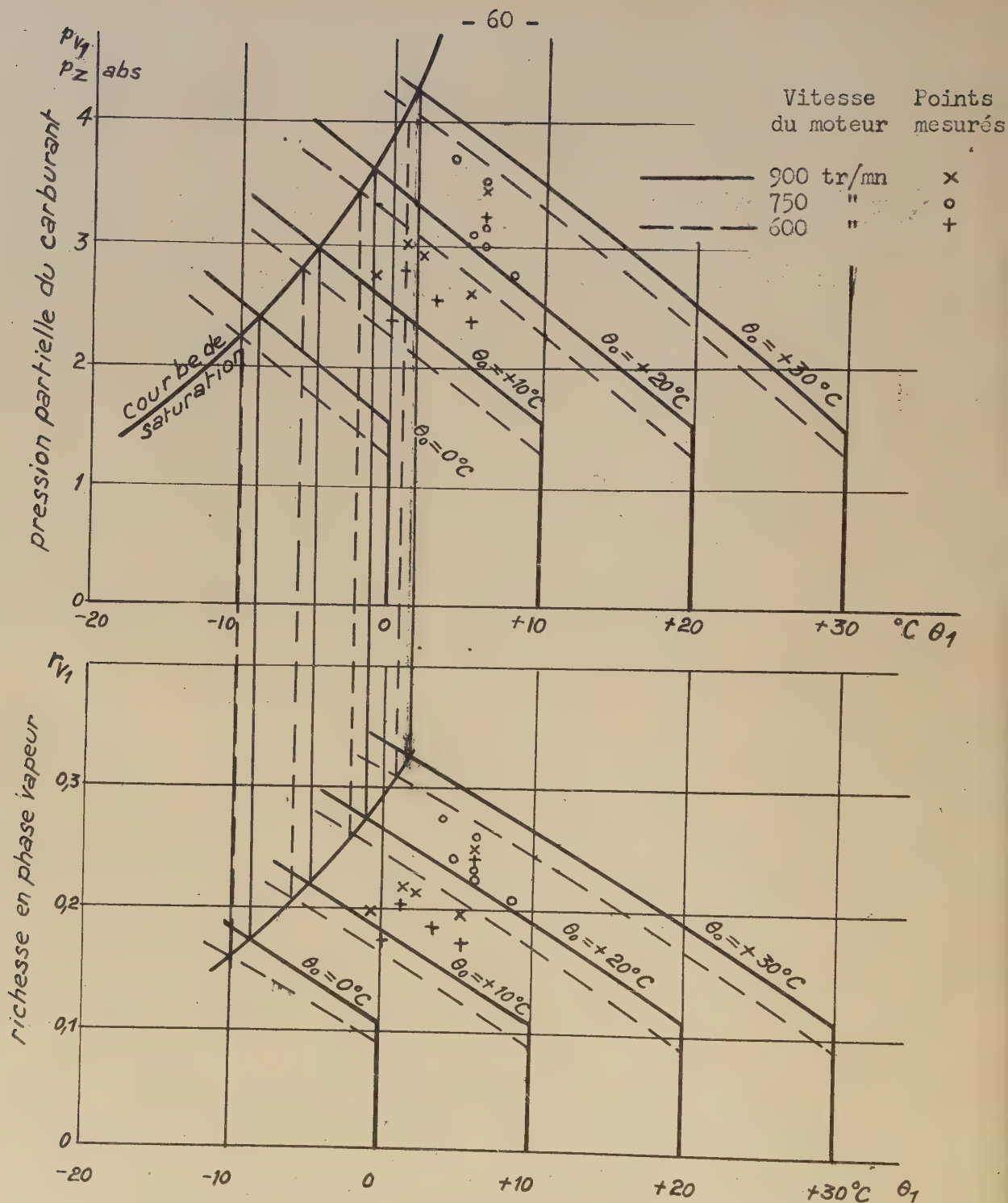


Fig. VI. 1

Calcul de la pression partielle et de la richesse en phase vapeur du méthanol introduit en mélange théorique avec l'air dans le collecteur d'admission d'un moteur C.F.R. en fonction de la température extérieure θ_0 et de la température dans le collecteur θ_1 .
 Cas d'une dépression nulle.

Les points mesurés sont définis par les températures θ_0 et θ_1 observées en cours d'essais.

c/ - Energie reçue en provenance de la masse du moteur par le mélange traversant le collecteur d'admission.

Le fait que la différence de température entre la masse du moteur et celle du collecteur d'admission est indépendante de la proportion de carburant introduite dans l'air aspiré indique qu'il en est de même de l'énergie absorbée par le mélange traversant le collecteur.

Celle-ci est mesurée par l'élévation de température dans le collecteur dans le cas de la marche en régime stabilisé sans carburant (cf. Chapitre V, Tableau V).

Il résulte de ces valeurs et de celles des masses d'air aspiré que l'énergie reçue dans le collecteur serait pratiquement égale à 10 J par cylindrée dans tous les cas.

VI.2 - COMPARAISON DES RESULTATS DES MESURES AVEC CEUX D'UN CALCUL DE VAPORISATION EXECUTE DANS L'HYPOTHESE OU LE LIQUIDE ET LE MELANGE GAZEUX SONT A LA MEME TEMPERATURE. -

a/ - Conduite du calcul.

On calcule la richesse en phase vapeur en fonction de la température dans le collecteur d'admission d'après la variation d'enthalpie du mélange air-carburant tenu compte de l'énergie reçue et de la variation de pression, soit pendant un cycle moteur :

$$N_c \cdot \frac{r-v_1}{r} \left(L_{0c} + C_{pc} \cdot \theta_1 - G_l \cdot \theta_0 \right) + N_c \cdot \frac{r-v_1}{r} \cdot G_l (\theta_1 - \theta_0) + N_a \cdot C_{pa} \cdot (\theta_1 - \theta_0) = Q_1 + V_1 \cdot \Delta p_1 \quad \langle VI.1 \rangle$$

En ce qui concerne les notations, nous rappelons simplement que N représente des nombres de moles, r des richesses, L_{0c} la chaleur de vaporisation à 0°C, G les chaleurs spécifiques, que l'indice l concerne les liquides, v les vapeurs, c les carburants, p les transformations à pression constante, a l'air en général, s l'air non mélangé de carburant et renvoyons pour plus de détails au tableau général des notations.

La quantité Q_1 qui est constamment égale à 10 J peut s'écrire également :

$$Q_1 = N_a \cdot C_{pa} \cdot (\theta_{s1} - \theta_0)$$

On peut dans le collecteur d'admission écrire avec une approximation suffisante :

$$V_1 \cdot \Delta p_1 = N_a \cdot \gamma_{a1} \cdot \Delta p_1 \quad \langle VI.2 \rangle$$

Nous obtenons ainsi une expression de la richesse en phase vapeur $\langle VI.3 \rangle$ dans laquelle le premier terme représente la part de vaporisation imputable à l'abaissement de température, le second l'influence de l'énergie reçue, le troisième l'influence de la dépression, ce dernier terme étant négatif :

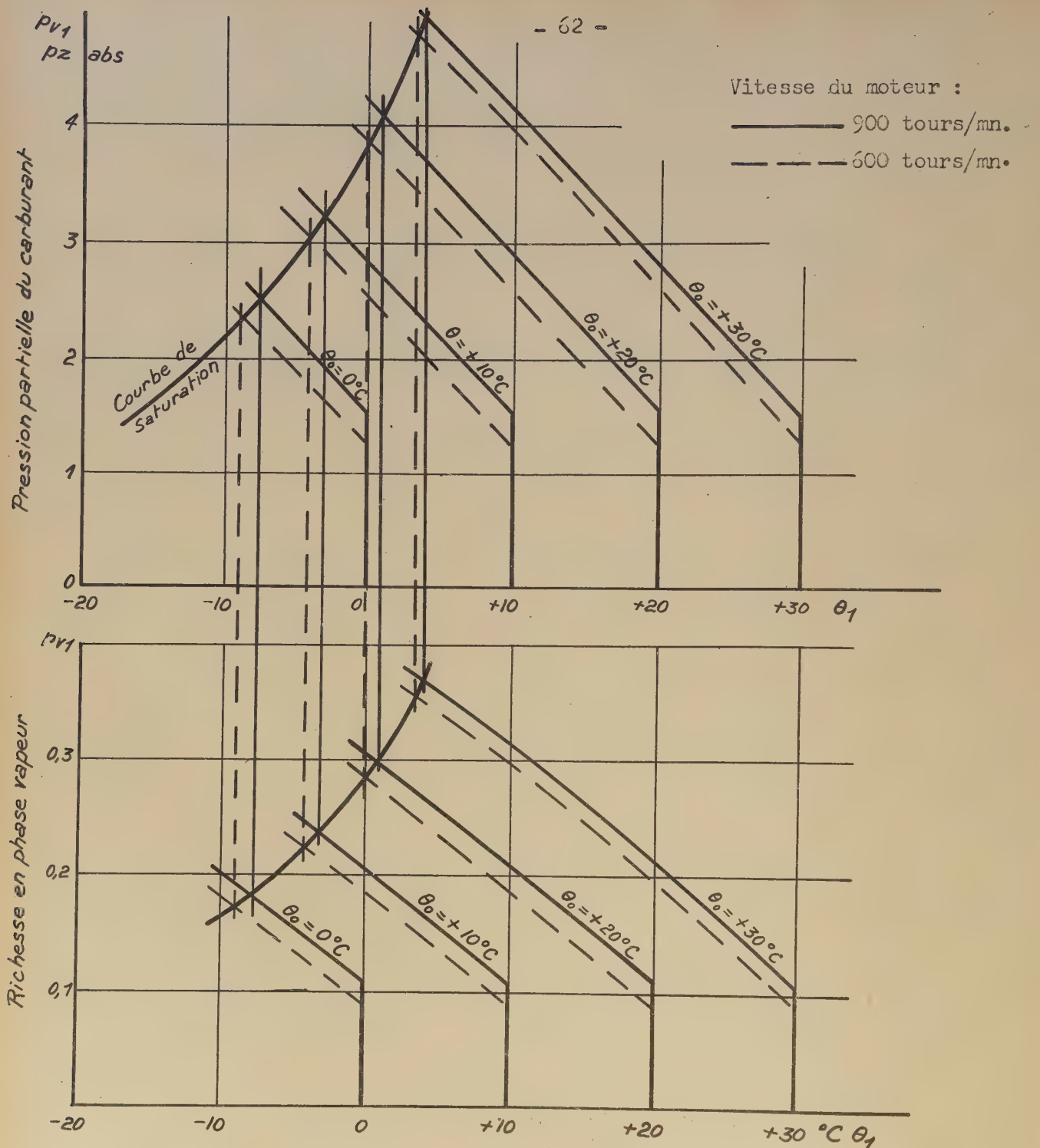


Fig. VI. 2

Calcul de la pression partielle et de la richesse en phase vapeur du méthanol introduit en mélange avec l'air au double de la richesse théorique dans le collecteur d'admission d'un moteur C.F.R. en fonction de la température extérieure θ_0 et de la température dans le collecteur θ_1 (cas d'une dépression nulle).

$$r_{v1} = \frac{(N_{st} \cdot C_{pa} + r \cdot C_{\ell})(\theta_0 - \theta_1)}{L_{0^\circ C} - (C_{\ell} - C_{pc})\theta_1} + \frac{N_{st} \cdot C_{pa}(\theta_{s1} - \theta_0)}{L_{0^\circ C} - (C_{\ell} - C_{pc})\theta_1} + \frac{N_{st} \cdot \gamma_{a1} \cdot \Delta p_1}{L_{0^\circ C} - (C_{\ell} - C_{pc})\theta_1} \quad \langle VI.3 \rangle$$

La richesse en phase vapeur ayant été déterminée en fonction de la température du mélange, nous en déduisons la pression partielle du carburant vaporisé dans le collecteur d'admission par la formule :

$$\frac{p_{v1}}{p_1} = \frac{1}{1 + \frac{N_{st}}{r_{v1}}} \quad \langle VI.4 \rangle$$

qui devient dans le cas du méthanol :

$$\frac{p_{v1}}{p_1} = \frac{1}{1 + \frac{7,15}{r_{v1}}}$$

b/ - Avec le méthanol, dans le cas d'une dépression nulle, c'est-à-dire pendant la fermeture de la soupape d'admission, l'expression de la richesse en phase vapeur devient :

$$r_{v1} = \frac{(208 + 79r)(\theta_0 - \theta_1)}{37.420 - 34\theta} + \frac{3.300}{37.420 - 34\theta} \quad \text{à } 600 \text{ tours/mn}$$

$$r_{v1} = \frac{(208 + 79r)(\theta_0 - \theta_1)}{37.420 - 34\theta} + \frac{4.050}{37.420 - 34\theta} \quad \text{à } 900 \text{ " "}$$

c/ - Au maximum de dépression, ces valeurs sont respectivement diminuées de :

$$\frac{2.900}{37.420 - 34\theta_1} \quad \text{et} \quad \frac{4.150}{37.420 - 34\theta_1}$$

Nous avons placé l'une au-dessus de l'autre les courbes exprimant la richesse en phase vapeur et la pression partielle du carburant en fonction de la température du mélange et de la température extérieure. L'intersection de cette dernière courbe avec la courbe de saturation donne la température d'équilibre des échanges vapeur-liquide dans le collecteur. Il suffit de rappeler les points obtenus sur la courbe correspondante pour connaître le maximum réalisable de la richesse en phase vapeur dans le collecteur d'admission.

Les figures VI.1 et 2 traitent le cas du méthanol introduit en richesse $r = 1$ et $r = 2$ pendant la fermeture de la soupape d'admission la vitesse du moteur étant 600 et 900 t/mn et la température extérieure variant entre 0 et 30°C.

Les figures VI.3 et 4 traitent les mêmes problèmes au moment du maximum de dépression.

d/ - Les résultats du calcul en ce qui concerne le maximum de richesse en phase vapeur réalisable dans le collecteur d'admission, la vitesse de rotation étant 900 t/mn sont rassemblés ci-dessous :

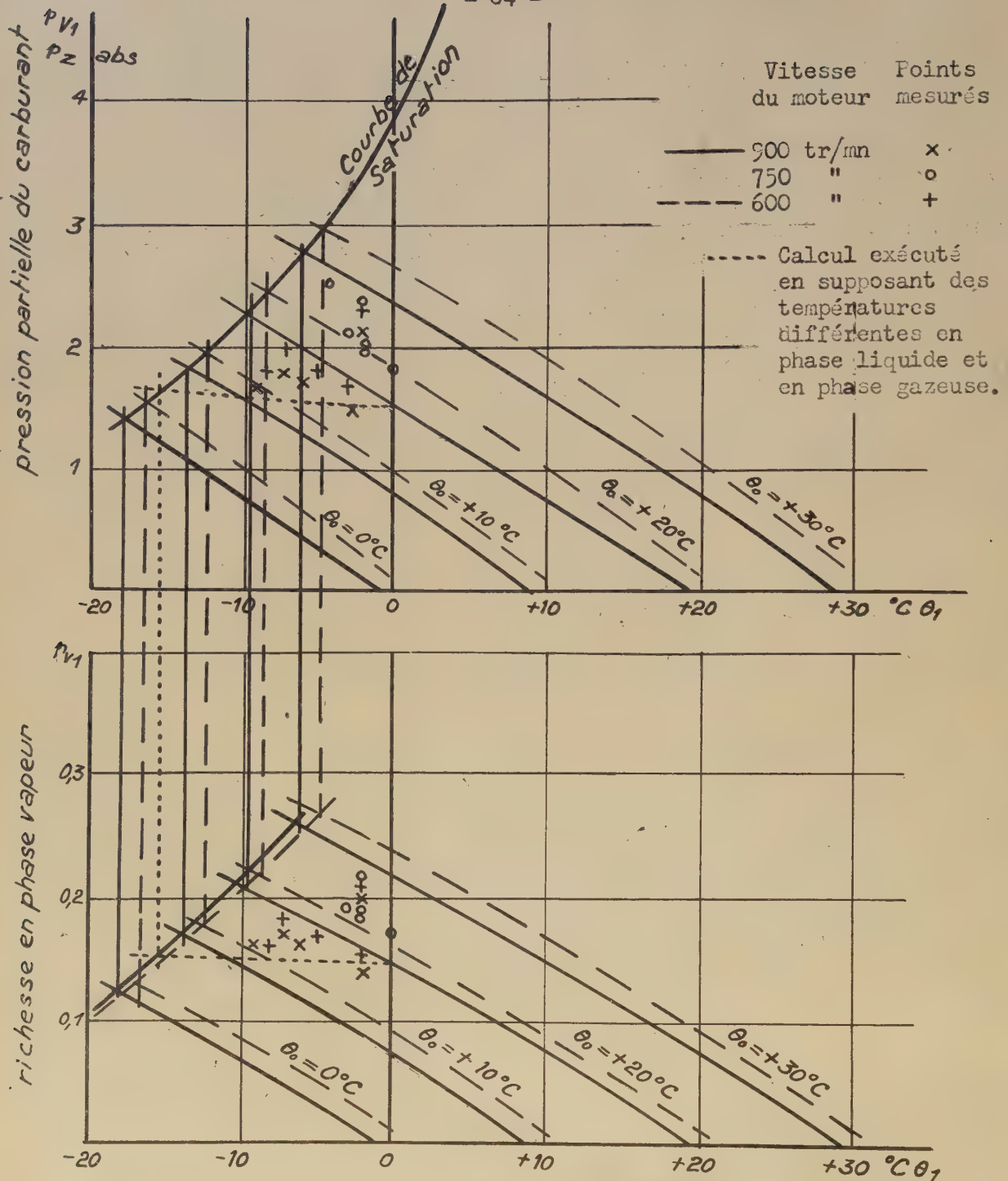


Fig. VII 3

Calcul de la pression partielle et de la richesse en phase vapeur au maximum de dépression, du méthanol introduit en mélange théorique avec l'air dans le collecteur d'admission d'un moteur C.F.R., en fonction de la température extérieure θ_0 et de la température dans le collecteur θ_1 .

(Les points mesurés sont définis par les températures θ_0 et θ_1 observées en cours d'essais)

1er cas - soupape d'admission fermée (dépression nulle)

Pour une température extérieure	$\theta_0 = 0$	+ 10	+ 20	+ 30°C
et une richesse de) $r = 1$	$r_{v1} = 0,17$	0,22	0,27	0,32
carburant introduit ($r = 2$	$r_{v1} = 0,18$	0,24	0,30	0,37

2ème cas - Au maximum de pression, mêmes températures extérieures.

Pour une richesse de) $r = 1$	$r_{v1} = 0,13$	0,17	0,21	0,26
carburant introduit ($r = 2$	$r_{v1} = 0,15$	0,20	0,255	0,31

Les points correspondants aux températures mesurées en richesse théorique dans les deux cas ci-dessus ont été reportés sur les figures VI.1 et 3.

On voit que les températures mesurées dans le collecteur d'admission sont toutes supérieures de quelques degrés aux températures calculées dans l'hypothèse où les phases liquide et gazeuse sont à la même température.

Nous allons montrer ce que devient le calcul précédent lorsqu'on admet que ces deux températures peuvent être différentes.

VI.3 - COMPARAISON DES RESULTATS DE NOS MESURES AVEC CEUX DU MEME CALCUL EXECUTE EN SUPPOSANT LES TEMPERATURES DIFFERENTES EN PHASE LIQUIDE ET EN PHASE GAZEUSE. -

a/ - Principe du calcul.

La température en phase gazeuse θ_{g1} étant celle indiquée par les mesures l'équation VI.1 devient :

$$\begin{aligned} N_c \cdot \frac{r_{v1}}{r} [L_0^\circ C + G_{pc} \cdot \theta_{g1} - G_l \cdot \theta_0] + N_c \left(\frac{r - r_{v1}}{r} \right) \cdot C_l (\theta_{l1} - \theta_0) + N_a \cdot C_{pa} (\theta_{g1} - \theta_0) \dots \\ \dots = N_a \cdot C_{pa} (\theta_{s1} - \theta_0) + N_a \cdot \gamma_{a1} \cdot \Delta p_1 \end{aligned} \quad \text{<VI.5>}$$

La richesse en phase vapeur est reliée à la température du carburant liquide par la formule :

$$r_{v1} = \frac{N_{st} \cdot C_{pa} (\theta_{s1} - \theta_{g1}) + r \cdot G_l (\theta_0 - \theta_{l1}) + N_{st} \cdot \gamma_{a1} \cdot \Delta p_1}{L_0^\circ C + G_{pc} \cdot \theta_{g1} - G_l \cdot \theta_{l1}} \quad \text{<VI.6>}$$

qui devient dans le cas du méthanol :

$$r_{v1} = \frac{208 (\theta_{s1} - \theta_{g1}) + 79r (\theta_0 - \theta_{l1}) + N_{st} \cdot \gamma_{a1} \cdot \Delta p_1}{37.420 + 45 \theta_{g1} - 79 \theta_{l1}}$$

La relation entre la pression partielle et la richesse en phase vapeur du carburant n'ayant pas changé on construit comme précédemment la courbe reliant cette pression à la température du carburant liquide. Si nous admettons que la totalité du carburant liquide se trouve à la température de saturation ($\theta_{l1} = \theta_{f1}$) l'intersection de cette ligne avec la courbe de saturation représente le cas où la totalité du carburant liquide se trouve à la température de saturation.

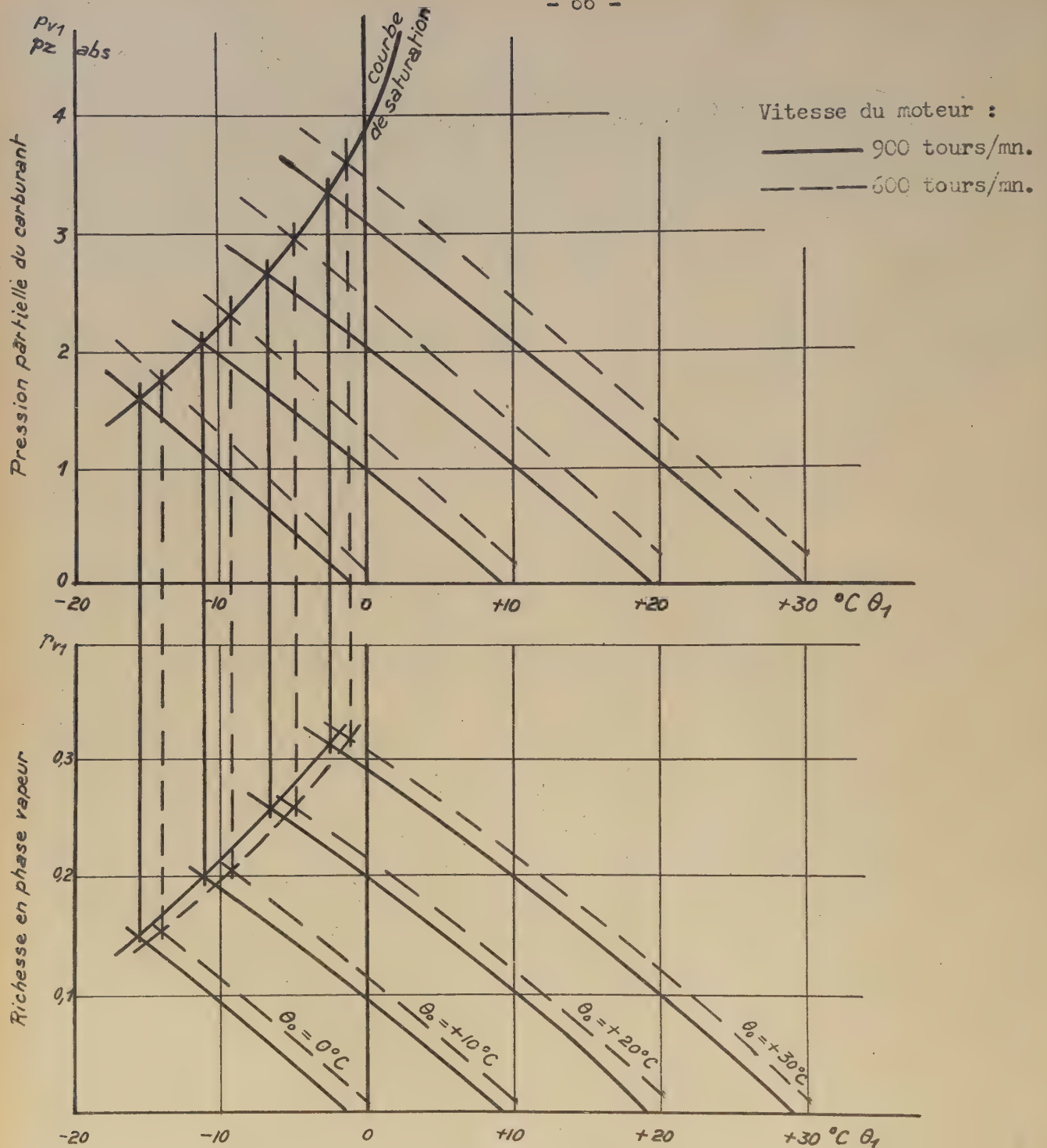


Fig. VI 4

Calcul de la pression partielle et de la richesse en phase vapeur au maximum de dépression du méthanol introduit en mélange avec l'air au double de la richesse théorique dans le collecteur d'admission d'un moteur C.F.R. en fonction de la température extérieure θ_0 et de la température dans le collecteur θ_1 .

b/ - A titre d'exemple de calcul, nous traitons le cas d'un mélange air-méthanol de richesse théorique introduit à la température extérieure $\theta_0 = + 20^\circ\text{C}$ dans un moteur tournant à 900 t/mn; la température mesurée en phase vapeur dans le collecteur d'admission étant: $\theta_{1g} = 0^\circ\text{C}$.

La richesse en phase vapeur est reliée à la température du liquide par la relation :

$$r_{v1} = \frac{5.630 - 79\theta_{l1}}{37.420 - 79\theta_{l1}}$$

qui est représentée sur la figure VI.3 par une ligne pointillée ainsi que la courbe de pression de vapeur du carburant en fonction de sa température en phase liquide.

Ces deux lignes sont très peu inclinées sur l'horizontale.

L'intersection de la courbe de tension de vapeur avec la courbe de saturation a lieu pour $\theta_{f1} = - 15^\circ\text{C}$, la richesse en phase vapeur étant de l'ordre de $r_{v1} = 0,15$. On voit rapidement que la différence: $\frac{p_f}{T_{f1/2}} - \frac{p_{v1}}{T_{v1/2}}$ est positive.

VI.4 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE DE LA VAPORISATION DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION. -

a/ - Quelques observations générales ont pu être dégagées de nos résultats expérimentaux.

- Malgré des conditions de fonctionnement et d'expérimentation assez différentes les températures moyennes mesurées sont comparables avec celles que nous avons mesurées antérieurement sur moteur SIMCA 5.

- Quelles qu'aient été les conditions d'expérience et le stade de fonctionnement considéré la température mesurée a toujours été supérieure à la température calculée.

- Même exécuté dans le cas le plus favorable et pour toutes les valeurs de la température extérieure le calcul a montré, et d'après ce qui précède, l'expérience a confirmé a fortiori que, dans le collecteur d'admission la richesse en phase vapeur est plus faible que la limite inférieure d'inflammabilité du mélange. La richesse du mélange introduit est sans grande influence sur ce résultat.

b/ - Conséquences pratiques de ces observations.

Nos mesures de température et de pression dans le collecteur d'admission d'un moteur expérimental alimenté en air mélangé de méthanol ayant confirmé les prévisions théoriques de M. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF et nos premières observations sur un moteur de construction courante, nous croyons pouvoir affirmer que la vaporisation d'un carburant du genre du méthanol dans le collecteur d'admission d'un moteur à carburateur est et ne peut

être qu'extrêmement partielle. Elle ne peut pas expliquer le démarrage du moteur dans des conditions où il est obtenu très facilement. C'est donc dans les cylindres eux-mêmes que l'on doit étudier la préparation du mélange carburé d'un moteur froid à carburation externe.

TROISIEME PARTIE

ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'AIR DANS UN CYLINDRE

DE MOTEUR NE RECEVANT PAS DE CARBURANT

-:-:-:-:-

CHAPITRE VII

INTRODUCTION

MESURES DE PRESSION

MESURES DE TEMPERATURE AVANT STABILISATION DES ECHANGES THERMIQUES

VII.1 - INTRODUCTION. -

a/ - Objet de l'étude de l'évolution de l'air seul.

Etant donné la complexité de l'évolution d'un mélange hétérogène dans un cylindre de moteur, il est prudent de se raccrocher à une évolution plus simple, ceci d'autant plus qu'il est fait appel à des appareils nouveaux dont on doit contrôler le fonctionnement et l'emploi concurremment avec l'examen des phénomènes considérés.

L'objet des mesures sans carburant est donc :

- d'une part, contrôler la cohérence des mesures exécutées avec les appareils dont nous disposons.

- d'autre part préciser l'allure de certains phénomènes dont l'étude s'est toujours révélée difficile, en particulier les échanges de chaleur avec les parois, et les apports de chaleur dus aux phénomènes de frottement.

Pressions mesurées :

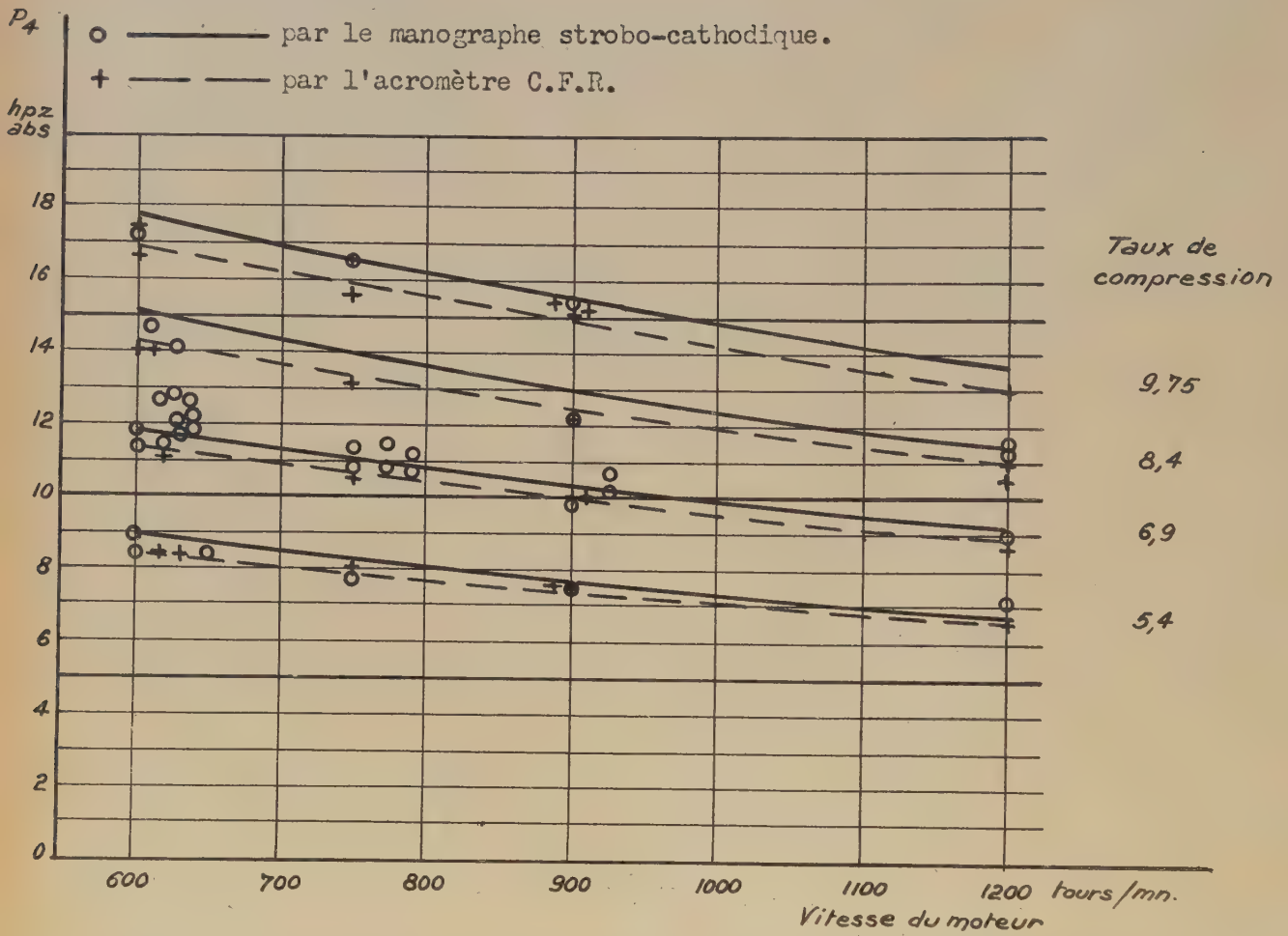


Fig. VII 1 : Pressions mesurées en fin de compression après stabilisation des échanges thermiques sur un moteur C.F.R. entraîné sans recevoir de carburant.

b/ - Conditions générales d'expérimentation.

Les mesures les plus intéressantes pour nous sont celles exécutées au démarrage sur moteur froid, mais nous n'avons la possibilité d'exécuter dans ces conditions que les enregistrements de température qui sont instantanés. Encore les mesures de déphasage avant stabilisation de la vitesse du moteur sont-elles trop incertaines pour que nous puissions les exploiter avec certitude.

Les mesures de débit s'étendent sur un temps trop long pour pouvoir donner des valeurs instantanées. L'acromètre et le manographe strobocathodique ne peuvent indiquer, par principe, que des valeurs s'étendant sur plusieurs cycles.

C'est pourquoi les mesures de débit et de pression ont été exécutées après stabilisation de la vitesse du moteur et surtout après stabilisation du régime des échanges thermiques.

Les mesures relatives à l'air seul ont été en majorité exécutées à quatre vitesses avec trois taux de compression différents.

Les mesures de pression en basse pression ont été exécutées à plusieurs vitesses avec le taux de compression 6,9.

Nous consacrons la suite de ce Chapitre aux mesures de pression puis aux mesures de température exécutées avant stabilisation des échanges thermiques. Les mesures de température exécutées après stabilisation ont été les plus nombreuses. Elles feront l'objet du Chapitre VIII et seront suivies d'une analyse statistique destinée à discriminer l'influence des erreurs de mesures et celle des facteurs dont nous ne sommes pas maîtres.

Le Chapitre IX sera consacré aux mesures de déphasage et à l'interprétation des diagrammes de température corrigés.

VII.2 - MESURES DE PRESSION. -

a/ - Représentation des résultats en hectopièzes absolus.

Les mesures de pression ont été exécutées par rapport à la pression atmosphérique alors que ce sont les pressions absolues qui interviennent dans les calculs. Au cours de nos essais la pression atmosphérique s'est à peu près constamment maintenue entre 750 et 760 mm. de mercure et il n'a pas été observé de relation cohérente entre la pression en fin de compression et la pression extérieure.

Nous simplifierons donc nos interprétations en considérant le cas uniforme où la pression extérieure est égale à 1 hpz (750 mm. de mercure) et nous allégerons notre rédaction en communiquant sous l'appellation de pressions absolues les pressions effectives majorées de 1 hpz.

• Points mesurés.

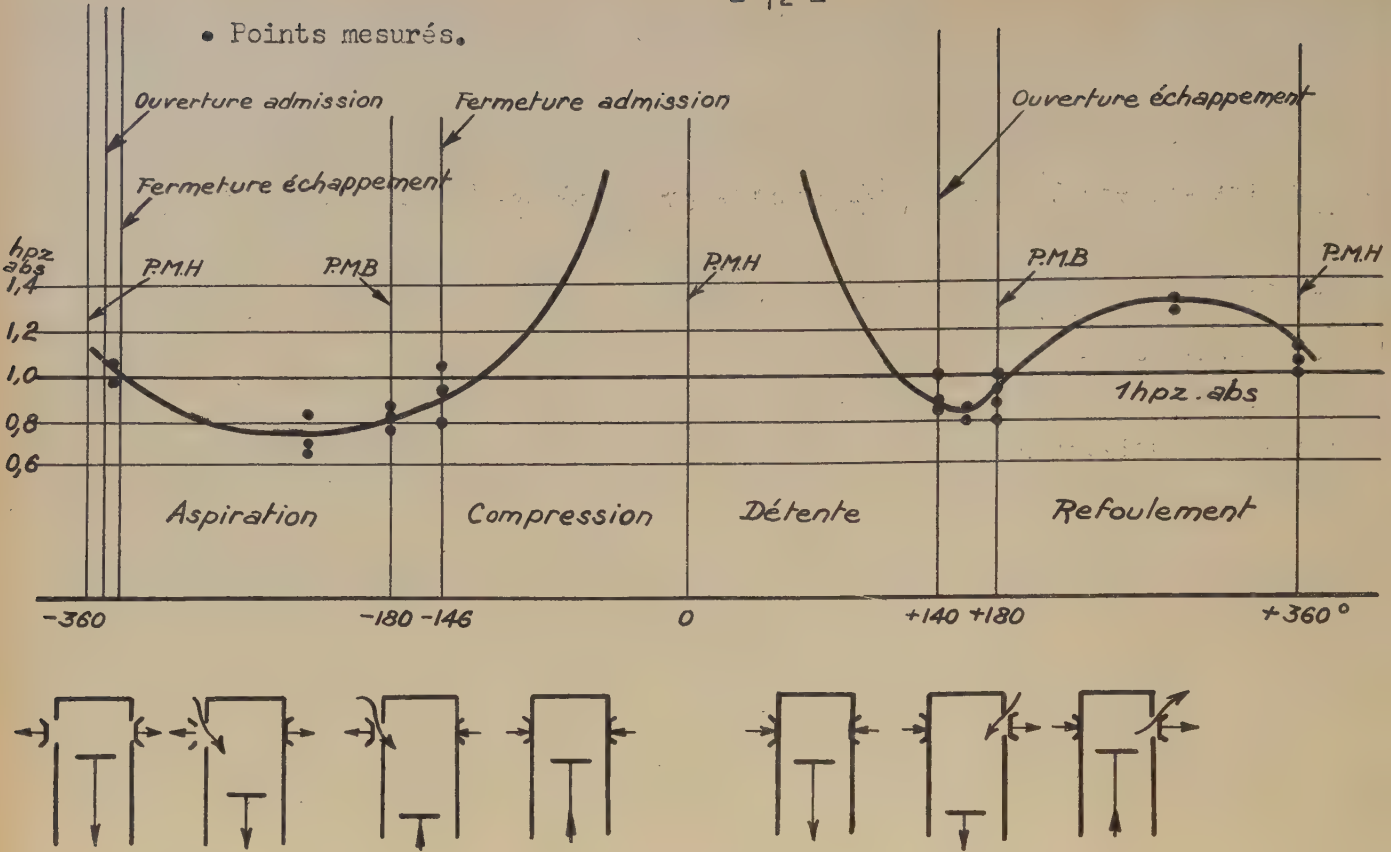


Fig. VII 2

Diagramme des basses pressions en fonction de l'angle de manivelle.

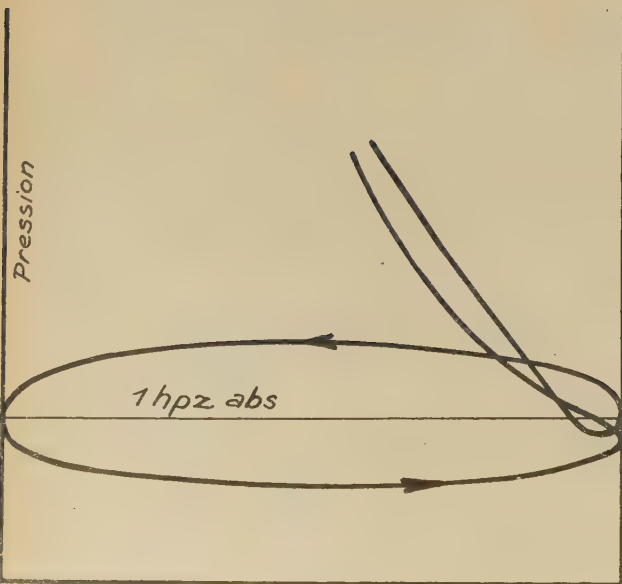


Fig. VII 3

Allure d'un diagramme des basses pressions en fonction de la course du piston.



Fig. VII 4

Allure d'un diagramme des basses pressions décalé de 90° d'angle par rapport à la course du piston.

b/ - Mesures de pression en fin de compression au moyen de l'acromètre C.F.R.

L'acromètre était monté à l'emplacement de l'aiguille sauteuse. Les mesures ont été exécutées aux vitesses du moteur de 600, 750, 900 et 1200 t/mn avec les taux de compression : 5,4, 6,9, 8,4, 9,75.

Les résultats sont représentés par des croix sur la figure VII.1. Les moyennes s'alignent en fonction de la vitesse suivant des courbes descendantes à peu près rectilignes représentées en traits interrompus. Pour les taux de compression 5,4, 6,9 et 8,4 la dispersion des points n'a pas dépassé le chiffre de $\pm 0,25$ hpz qui représente la précision des mesures.

c/ - Enregistrements haute pression avec le manographe strobo-cathodique.

Des enregistrements ont été exécutés à plusieurs reprises avec les taux de compression 5,4, 6,9, 8,4 et 9,75 à des vitesses voisines de 600, 750, 900 et 1200 t/mn.

Les pressions en fin de compression lues sur des diagrammes sont représentées sur la figure VII.1 par des cercles évidés.

Les lignes moyennes sont tracées en traits pleins. Dans leur ensemble les pressions en fin de compression mesurées par le manographe strobo-cathodique sont supérieures aux pressions indiquées par l'acromètre. Ceci doit être imputable au supplément de volume offert par l'acromètre lui-même.

d/ - Allure schématique des enregistrements basse pression.

L'examen des diagrammes de pression aux faibles pressions et en dépression nécessite de connaître à l'avance leur allure ainsi que les particularités qu'ils doivent présenter ou ne pas présenter car plusieurs branches de la courbe se superposent et il peut arriver de joindre les points de façon incorrecte.

Nous avons représenté sur la figure VII.2 un diagramme de pressions développé en fonction de l'angle de rotation avec représentation schématique de la position et du mouvement de piston et des soupapes.

La pression est voisine de la pression atmosphérique au moment de la fermeture de la soupape d'échappement qui correspond à peu près à l'ouverture de la soupape d'admission avec un léger croisement.

Le cylindre est en dépression pendant la phase d'aspiration.

La pression redevient égale à la pression atmosphérique un peu avant ou un peu après la fermeture de la soupape d'admission.

La pression enregistrée sort des limites du diagramme pendant le temps de compression et reparaît pendant la phase de détente à la fin de laquelle le cylindre peut se trouver en légère dépression.

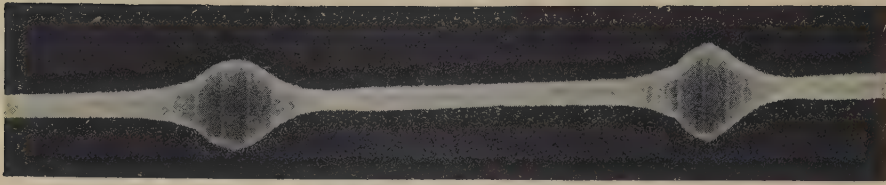


Fig. VII. 5 a

Démarrage : 1^{er} et 2^e cycles

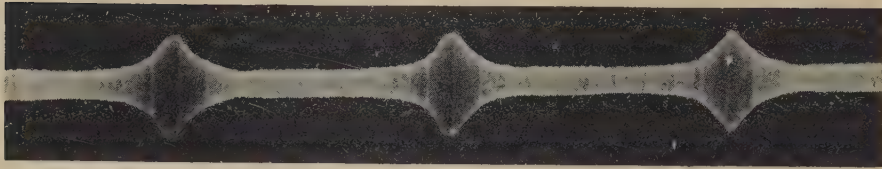


Fig. VII. 5 b

39^e , 40^e et 41^e cycles après démarrage

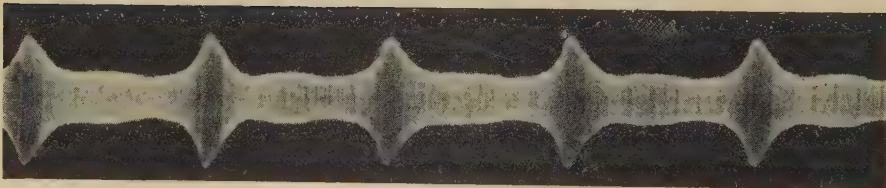


Fig. VII. 5 c

Après 50 mn. de fonctionnement à 750 tours/mn.

Fig. VII. 5 a, b, c

Influence du temps de fonctionnement sur l'allure des diagrammes de température en cours de compression de l'air seul dans un cylindre de moteur C.F.R.

(taux de compression : 6,9)

La pression remonte pendant la période de refoulement pour vaincre les pertes de charge à travers la soupape et la tuyauterie d'échappement.

La figure VII.3 montre ce que devient ce diagramme lorsqu'on représente les pressions en fonction de la course du piston et la figure VII.4 représente le diagramme obtenu en décalant l'enregistrement de 90° environ par rapport à la course du piston.

Ces figures sont à rapprocher des diagrammes reproduits au cours du Chapitre III (fig. III.5 et 6).

e/ - Examen des diagrammes en dépression.

Nous avons reporté sur la figure VII.2 les valeurs remarquables relevées sur un certain nombre d'enregistrements exécutés à différentes vitesses (taux de compression 6,9).

Les points se sont situés autour de la courbe prévue avec une dispersion de $\pm 0,1$ hpz.

La moyenne des pressions enregistrées au croisement de la fermeture de la soupape d'échappement et de l'ouverture de la soupape d'admission est 1,0 hpz.

VII.3 - MESURES DE TEMPERATURES DE L'AIR DANS UN CYLINDRE DE MOTEUR DONT LE REGIME THERMIQUE N'EST PAS ENCORE STABILISE. -

a/ - Conditions d'expérimentation.

Quelques séries d'enregistrements ont été exécutées en procédant de la manière suivante : un premier film de température était relevé pendant le lancement du moteur.

Quelques autres films étaient relevés en nombre plus ou moins grand pendant la période de chauffage du moteur jusqu'à stabilisation des températures.

b/ - Résultats des essais [25]

Quel que soit le taux de compression et la vitesse d'entraînement du moteur les enregistrements ont été concordants en ce sens que les premiers films ont indiqué une température en fin de détente inférieure à la température en fin d'admission et que ce résultat s'est inversé au bout d'un certain temps de fonctionnement.

Nous reproduisons sur la figure VII.5 a,b,c, quelques cycles de températures enregistrées dans ces conditions et sur la figure VII.6 les diagrammes de température résultant de la lecture de ces films (sans correction de déphasage, cette correction devant être faite plus loin). Ces enregistrements ont été exécutés avec le taux de compression : 6,9.

La figure VII.5 a représente les premier et deuxième cycles, le moteur tournant aux environs de 300 et 400 tours/mn.

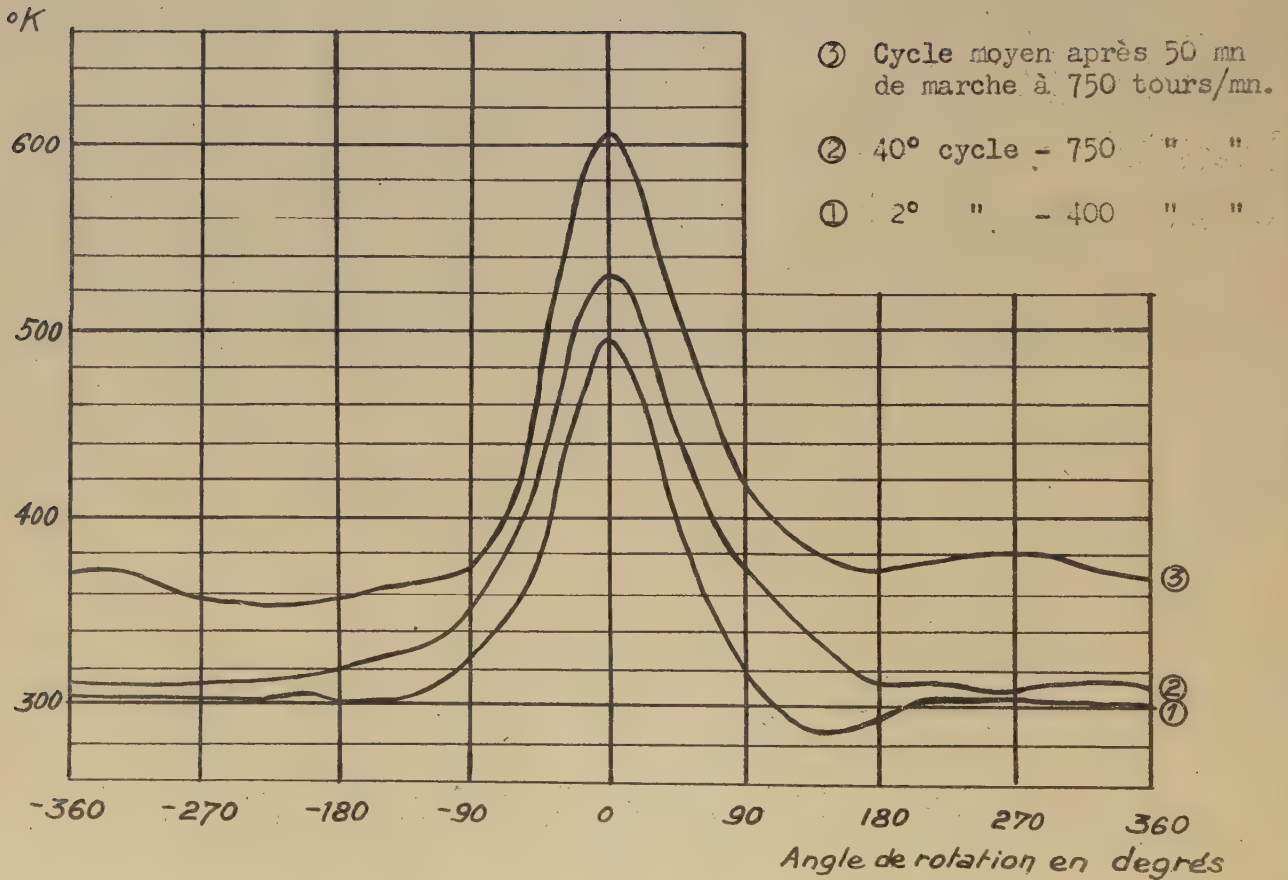


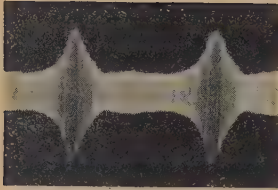
Fig. VII 6

Diagramme de températures enregistrées avant stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté en air seul. Taux de compression : 6,9.
(Températures non affectées de la correction de déphasage)

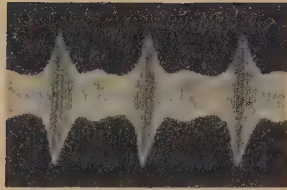
étant lancé à 750 t/mn, mais encore froid.

La figure VII.5 c représente une série d'enregistrements exécutés après 50 mn. de marche à 750 t/mn.

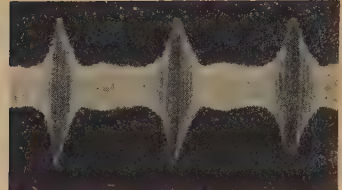
Les films enregistrés à 750 t/mn. seront étudiés plus en détail au Chapitre IX.

Fig. VIII. 1

600 tours/mn.

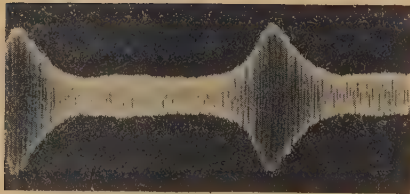
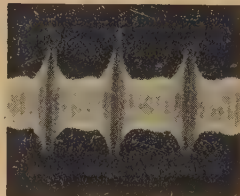
Fig. VIII. 2

900 tours/mn.

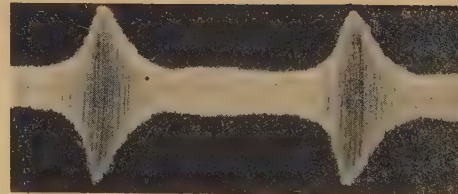
Fig. VIII. 3

1200 tours/mn.

taux de compression : 5,4

Fig. VIII. 4Taux
de compression : 6,9Fig. VIII. 5

8,4

Fig. VIII. 6

9,75

Vitesse de rotation : 750 tours/mn.

Fig. VIII. 1 à 6

Exemples d'enregistrements de température en cours de compression de l'air seul
dans un moteur C.F.R. après stabilisation des échanges thermiques.

CHAPITRE VIII

DIAGRAMMES DE TEMPERATURE RELEVES PENDANT L'EVOLUTION DE L'AIR SEUL DANS UN CYLINDRE DE MOTEUR EN REGIME STABILISE

ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

VIII.1 - ESSAIS EXECUTES. -

Les mesures qui se sont étendues sur une période assez longue, ont été exécutés avec trois capteurs de température différents, le moteur étant entraîné à 600, 750, 900 et 1200 t/mn avec les taux de compression 5,4, 6,9, 8,4 et 9,75. Le capteur de température était placé tantôt à l'emplacement de l'aiguille sauteuse, tantôt à celui de la bougie d'allumage.

Le réglage de l'objectif de l'appareil de prise de vues a été refait à plusieurs reprises.

Ces mesures ne comportaient pas le repérage de la position de l'arbre, celui-ci ayant été déterminé spécialement avec l'oscillographe à double commande.

Nous rassemblons sur le tableau VIII-A avec indication des conditions opératoires, les températures en fin de compression et les minima de température en cours d'aspiration telles qu'elles résultent du dépouillement direct de 40 films enregistrés, après stabilisation de la température du moteur, dans des conditions diverses. Ces températures sont exprimées en degrés kelvin. A titre d'exemple nous reproduisons quelques uns des films dont nous communiquons les résultats (fig. VII.1 à 6).

VIII.2 - PRINCIPES DE L'ANALYSE STATISTIQUE EXECUTEE. -

a/ - La raison de cette analyse est que les températures résultant de la lecture de diagrammes présentent entre elles une grande dispersion, que l'on

compare des cycles différents enregistrés sur un même film ou les moyennes de déterminations effectuées sur des films différents enregistrés dans les mêmes conditions.

Nous avons vu (Chapitre IV) que le mode de réalisation du thermomètre enregistreur à variation de résistance oblige à exécuter une série d'éta-lonnages indépendants dont les erreurs s'additionnent. Ces erreurs, toute-fois, ne se reproduisent pas toutes avec la même fréquence. Nous verrons, d'autre part, que leur somme ne suffit pas à expliquer la totalité des écarts observés.

Une étude statistique doit permettre d'évaluer par une méthode simple l'importance relative des facteurs mesurables et de ceux dont nous ne sommes pas maîtres, ainsi que de dégager un diagramme moyen correspondant aux prin-cipales conditions d'expérimentation.

b/ - Facteurs expérimentaux influençant les mesures.

Les variables mesurables à considérer sont :

- le taux de compression,
- la vitesse de rotation,
- la température extérieure.

Les variables aléatoires sont par ordre de fréquences décroissantes :

- le passage d'un cycle du moteur au suivant,
- le changement de film,
- le changement d'emplacement du capteur,
- le jour d'expérimentation,
- le changement de réglage optique,
- le changement de capteur.

Une augmentation du taux de compression élève indiscutablement les températures en cours de compression.

L'influence de la température extérieure s'efface devant celle des autres facteurs.

c/ - La méthode d'analyse statistique adoptée consiste à comparer les ré-sultats obtenus en les groupant ou les séparant de manière à faire apparaître l'influence des différentes variables puis éliminer successivement dans toute la mesure acceptable l'influence de ces variables par des corrections appropriées.

La première variable étudiée et éliminée est la vitesse de rotation, la dernière est le taux de compression.

VII.3 - GROUPEMENTS DES RESULTATS. -

a/ - Le premier groupement des résultats qui tient compte de la vitesse du moteur au moment où les enregistrements ont été opérés occupe la plus grande partie du Tableau VIII.A.

Il comprend :

- Pour chaque film le maximum, le minimum et la moyenne statistique des températures enregistrées en fin de compression et en cours d'aspiration,
- La moyenne par jour et par taux de compression de ces températures.

b/ - Influence de la vitesse de rotation.

Nous avons groupé par vitesse sur le tableau VIII.B les écarts entre les moyennes par film et les moyennes par jour et par taux de compression. Nous avons ensuite effectué pour chaque vitesse la moyenne arithmétique des écarts par taux de compression, d'abord, puis pour l'ensemble des taux de compression.

D'après ces résultats une augmentation de vitesse de 100 t/mn a eu pour effet :

- de faire baisser la température en fin de compression de $1,7^{\circ}$ et d'augmenter la température en cours d'aspiration de $1,3^{\circ}$ environ.

Les valeurs moyennes de ces températures correspondent à peu près à la vitesse de 840 t/mn.

c/ - Elimination de l'influence de la vitesse de rotation.

Afin de rendre tous les résultats comparables entre eux en vue de rechercher l'influence des différents facteurs énumérés nous éliminons l'influence de la vitesse du moteur en appliquant aux moyennes par film une correction égale et opposée à la variation de température que nous venons de déterminer.

Les températures ainsi corrigées sont inscrites sur le tableau VIII.C et serviront de base pour l'analyse statistique des résultats de nos mesures de température.

d/ - Amplitude de la variation de température entre l'aspiration et la fin de compression.

La comparaison des amplitudes de variation de température entre l'aspiration et la fin de compression est utile dans l'examen statistique des résultats.

Nous avons groupé sur le tableau VIII.C les différences entre les températures enregistrées en fin de compression et en cours d'aspiration, les vitesses du moteur étant supposées ramenées à la même valeur (840 t/mn) ainsi que les moyennes de ces amplitudes par journée d'essais.

e/ - Un deuxième groupement des résultats (les vitesses étant supposées ramenées à 840 t/mn) rassemble par taux de compression et par jour d'expérimentation sur le tableau VIII/D, les moyennes des températures enregistrées, avec indication du numéro et de l'emplacement du capteur de température ainsi que du nombre des films ayant servi à déterminer les moyennes.

TABLEAU VIII.A

Températures mesurées au cours de la compression de l'air dans un moteur C.F.R.
(sans correction de déphasage)

Capteur		Date	Température extérieure °C	Vitesse du moteur tours/minute	Ecart entre la tem- pérature de la cu- lasse et l'extérieur	en fin de compression				en milieu d'aspiration				Moyenne par jour et par taux de compression °K
N°	Raplacement					Valeurs extrêmes		Moyenne par film °K	Moyenne par taux °K	Valeurs extrêmes		Moyenne film °K		
						minimum °K	maximum °K			minimum °K	maximum °K			
4,4	2 : Aiguille : : sauteuse :	27.7.49 :	+25 :	790	67	562	582	572,8	572,8	330	333	332	332	332
	: Bougie :	2.8.49 :	+23 :	780	-	552	563	559,6	559,6	320	325	321	321	321
	3 : Bougie :	26.10.49 :	+16 :	600	59	578	592	585,7	585,7	323	328	325	325	325
	: d' :	:	:	750	60	582	596	588,5	588,5	323	328	325	325	325
	: allumage :	:	:	900	62	578	592	585	584,5	323	328	325	325	325,7
	:	:	:	1200	67	573	586	579	579	325	330	328	328	328
9	1 : Aig. saut. :	28.6.49 :	+26 :	790	-	614	633	624,5	624,5	351	354	352	352	352
	: Bougie :	29.6.49 :	+26 :	630	-	614	630	620,9	620,9	350	350	350	350	350
	:	:	:	730	-	619	633	622,8	622,8	350	350	350	350	350
	:	:	:	925	-	594	627	612,8	612,8	350	350	350	350	350
	2 : Aiguille :	27.7.49 :	+25 :	600	62	587	610	598,8	598,8	333	338	335	335	335
	: sauteuse :	:	:	790	62	581	624	606,7	606,7	333	338	335	335	335
	:	:	:	790	67	590	611	602	604,8	330	333	331	331	331
	:	:	:	900	72	598	628	611,9	611,9	340	350	345	345	345
	: Bougie :	2.8.49 :	+23 :	630	-	589	606	598,5	598,5	510	313	311	311	311
	:	:	:	780	-	603	631	620,5	620,5	330	338	334	334	334
	:	:	:	930	-	581	597	593,5	593,5	317	320	318	318	318

3	Bougie	25.10.49:+16	620	61	640	663	650,3		335	338	336	337,4
			620	64	645	666	655,5		328	342	335	
			750	69	629	637	632,2	644,8	328	333	330	
			910	70	639	653	644,7		342	348	345	
			1200	80	625	658	640,4		340	343	341	
		22.12.49:+11	600	70	593	610	603,6		349	356	354	350,3
			750	70	577	595	586,6	596,6	338	345	341	
			1200	70	585	637	599,4		349	373	356	
		30.12.49:+11	600	68	601	623	613		358	374	363	370,7
			750	68	595	613	603	601,7	366	373	368	
			1200	76	573	601	589		374	387	381	
4	Bougie	26.10.49:+16	610	85	663	684	675,3		335	340	337	341,7
			750	87	653	673	664,5	666,2	337	342	340	
			900	93	653	671	660,3		337	342	340	
			1200	99	650	671	664,7		347	352	350	
		22.12.49:+11	600	68	647	647	639		356	361	358	356
			750	78	610	652	631	630	349	369	356	
			1200	70	610	623	619,9		351	359	354	
		30.12.49:+11	600	73	621	642	633		364	373	368	375,7
			750	73	637	648	644,5	632	373	381	377	
			1200	80	615	627	619		377	389	382	
75, 2	Aig. saut.	27.7.49 :+25	790	95	675	690	684,5		350	357	354	354
	Bougie	2.8.49 :+23	780	-	683	709	696,3	696,3	338	346	342	342

TAB. VIII. B

Influence de la vitesse de rotation sur la température moyenne statistique en cours de compression. Différence entre la température moyenne par film et la moyenne correspondante par jour et par taux de compression en °C.
(sans correction de déphasage)

Taux de compression	Date	Vitesse	Fin de compression				Milieu d'aspiration			
			600	750	900	1200	600	750	900	1200
			à 630	à 790	à 930		à 630	à 790	à 930	
5,4	26.10.49		+ 1,2	+ 4	+ 0,5	- 5,5	- 0,7	- 0,7	- 0,7	+ 2,3
6,9	29.6.49		+ 2	+ 3,9	- 6,1	-	0	0	0	-
	27.7.49		- 6	+ 1,9	+ 7,1	-	- 1,5	- 1,5	+ 0,5	-
	2.8.49		-	- 2,8	-	-	-	- 5,5	-	-
	25.10.49		- 5,6	+ 16,4	- 10,8	-	- 10	+ 13	- 3	-
			+ 5,7	- 12,4	+ 0,1	- 4,2	- 1,4	- 7,4	+ 7,6	+ 3,6
	22.12.49		+ 10,9	-	-	-	- 2,4	-	-	-
	30.12.49		+ 7	- 10	-	+ 2,8	+ 3,7	- 9,3	-	+ 5,7
			+ 11,3	- 1,3	-	- 12,7	- 7,7	- 2,7	-	+ 10,3
	Moyenne		+ 3,6	- 0,6	- 2,4	- 4,7	- 2,7	- 1,9	+ 3,3	+ 6,5
8,4	26.10.49		+ 9,0	- 1,7	- 5,9	- 1,5	- 4,7	- 1,7	- 1,7	+ 8,3
	22.12.49		+ 9	+ 1	-	- 10,1	+ 2	0	-	- 2
	30.12.49		+ 1	+ 12,5	-	- 13	- 7,7	+ 1,3	-	+ 6,3
	Moyenne		+ 6,3	+ 3,9	- 5,9	- 8,2	- 2,8	- 0,5	- 1,7	+ 4,5
Moyenne pour les trois taux de compression			+ 4,1	+ 1,0	- 2,5	- 6,3	- 2,8	- 1,3	+ 1,8	+ 4,9
Variation probable			+ 4,1	+ 1,5	- 1	- 6,3	- 2,8	- 0,8	+ 1,1	+ 4,9

TABLEAU VIII.C

Températures en cours de compression de l'air ramenées à une même vitesse de rotation (840 t/mn.). Amplitude de la variation de température entre le milieu de l'aspiration et la fin de compression
(sans correction de déphasage)

Taux de compression	Date	Moyenne des températures par film		Amplitude de variation	
		Fin de compression	Milieu d'aspiration	Moyenne par film	Moyenne par jour
6,9	28. 6.49	623,6	352,8	270,8	270,8
	29. 6.49	616,8	352,8	264,0	
		621,5	350,8	270,7	266,5
		613,8	348,9	264,9	
	27. 7.49	594,7	337,8	256,9	
		605,2	335,8	269,4	
		600,5	331,8	268,7	268,5
		612,9	333,9	279,0	
	2. 8.49	594,8	313,8	280,6	
		619	334,8	284,2	280,8
		594,5	316,9	277,6	
	25.10.49	646,2	338,8	307,4	
		651,4	337,8	313,6	
		633,7	330,8	302,9	307,2
		645,7	343,9	301,8	
		646,7	336,1	306,6	
	22.12.49	599,5	356,8	242,7	
		585,1	341,8	243,3	246,8
		605,7	351,1	254,6	
	30.12.49	608,9	360,2	248,7	
		601,5	367,2	234,3	234,1
		595,3	376,1	219,2	
5,4	27. 7.49	571,7	330,9	240,8	240,8
	2. 8.49	558,5	319,9	238,6	238,6
	26.10.49	581,6	327,8	253,8	
		587	325,8	261,2	
		586	323,9	262,1	259,9
		585,3	323,1	262,2	
8,4	26.10.49	671,2	339,8	331,4	
		663	340,8	322,2	
		661,3	338,9	322,4	325,5
		671	345,1	325,9	
	22.12.49	634,9	360,8	274,1	
		629,5	356,8	272,7	274,6
		626,2	349,1	281,1	
	30.12.49	628,7	370,8	258,1	
		643	377,8	265,2	257,2
		625,3	377,1	248,2	
5,75	27.7.49	683,1	353,9	329,2	329,2
	2.8.49	694,9	340,9	354,0	354,0

Détermination de l'influence des différents facteurs expérimentaux sur les températures enregistrées en cours de compression - Groupement des moyennes de températures et écarts correspondants (vitesses ramenées à 840 t./mn.) (sans correction de déphasage)

Taux de compression			Fin de compression			Milieu d'aspiration			
Capteur	Empla- cément	Date	Préférence	Mo. : par jour	écart : par jour	Mo. : par jour	écart : par jour	Mo. : par jour	écart : par jour
5,4	2	aig. saut. 27.7	1	571,7	+6,6	565,1	-13,3	330,9	+5,5
		bougie 2.8	1	558,5	-6,6	578,4		319,9	-5,5
	3	bougie 26.10	4	585				325,1	-0,1
6,9	1	aig. saut. 28.6	1	623,6	+4,7	618,9	+4,5	352,8	+1,5
		bougie 29.6	3	617,3	-1,6			350,8	-0,5
	2	aig. saut. 27.7	4	603,3	+0,3	603,0	-11,4	334,8	+5,6
		bougie 2.8	3	602,6	-0,4	614,4		321,8	-7,4
	3	bougie 25.10	5	644,7	+24,7			337,5	-11,6
		bougie 22.12	3	596,7	-23,3	620	-5,6	349,9	+0,8
		bougie 30.12	3	601,9	-18,1			367,8	+18,7
8,4	3	bougie 26.10	4	666,6	+21,3	645,3	645,3	341,1	-14,6
		bougie 22.12	3	630,2	-15,1			355,6	-0,1
		bougie 30.12	3	632,4	-12,9			375,2	+19,5
9,75	2	aig. saut. 27.7	1	683,1	-5,9	689,0	689,0	353,9	+6,5
		bougie 2.8	1	694,9	-5,9			340,9	-6,5

TABLÉAU VIII.E

Groupement des moyennes d'amplitude des variations de température pendant la compression de l'air seul dans un moteur CFR entre le milieu d'aspiration et la fin de compression.
(sans correction de déphasage)

Taux de compression :	Capteur :	Date :	par réglage optique :	par capteur :	par taux de compression :
5,4	2	27.7	240,8	239,7	
		2.8	238,6		
	3	26.10	259,9	259,9	
6,9	1	28.6	270,8	267,6	
		29.6	266,5		
	2	27.7	268,5		271,2
		2.8	280,8		
	3	25.10	307,2	270,9	
		22 et 30.12	240,4		
8,4	3	26.10	325,5	289,6	289,6
		22 et 30.12	265,9		
9,75	2	27.7	329,2	341,6	241,6

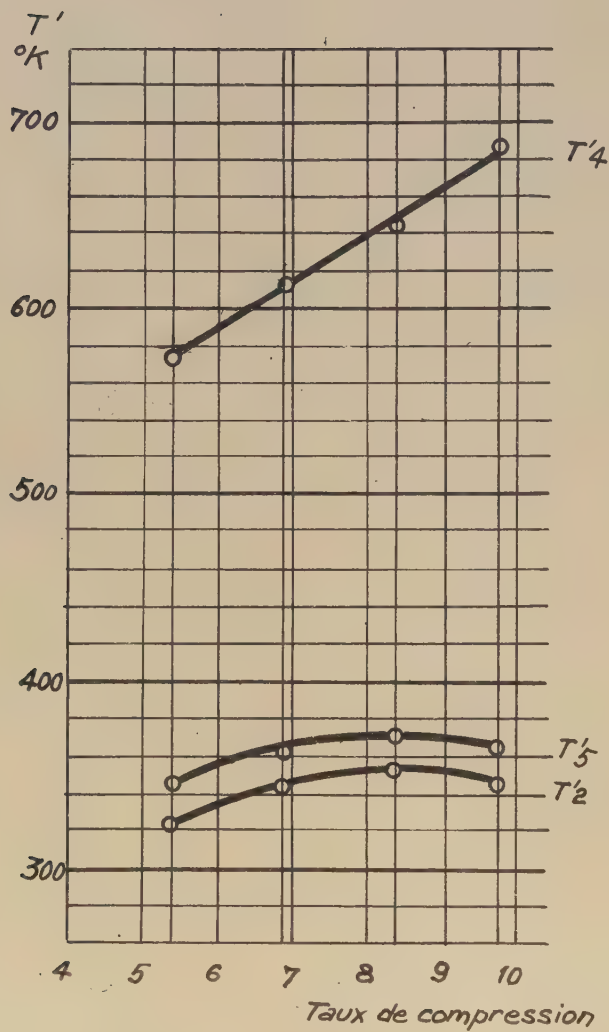


Fig. VIII 7

Influence du taux de compression
sur les températures enregistrées au cours de l'évolution
de l'air seul dans un cylindre de moteur C.F.R.
(Vitesse de rotation ramenée à 840 tours/mn)
(Températures non affectées de la correction de déphasage)

T'_4 températures en fin de compression.
 T'_5 " " de refoulement.
 T'_2 " " cours d'aspiration.

Nous avons ensuite effectué les moyennes de ces moyennes pour tous les films exécutés avec le même réglage optique, puis avec le même capteur et enfin pour tous les films enregistrés avec un même taux de compression.

Nous avons également noté les écarts entre ces différentes moyennes.

Sur le tableau VIII.E nous avons groupé les moyennes des amplitudes par réglage optique, par capteur et par taux de compression.

f/ - Courbes probables des températures mesurées en fonction du taux de compression.

Nous avons traduit en courbes sur la figure VIII.7 les moyennes statistiques par taux de compression relevées sur le tableau VIII.D. Nous y avons ajouté la courbe des moyennes de température en fin de refoulement.

Les alignements de ces courbes sont bons, les écarts s'étant éliminés dans le calcul des moyennes par taux de compression.

Les moyennes statistiques des températures en fin de compression s'alignent à peu près suivant une droite.

VIII.4 - ESSAI D'IMPUTATION DES ECARTS STATISTIQUES PAR UNE METHODE DE CORRECTIONS MAXIMA. -

Par rapport aux courbes moyennes que nous venons d'établir, les écarts observés proviennent, soit d'erreurs de mesures, soit de variations réelles dans le fonctionnement du moteur.

Nous essayons de ventiler les causes de ces écarts et de déterminer le minimum des écarts imputables aux variations du moteur en attribuant aux erreurs de mesures tout ce qui peut raisonnablement leur incomber et en effectuant les valeurs mesurées d'une correction égale et de signe contraire.

Il s'agit donc d'une méthode de corrections maxima.

Sur le Tableau VIII.F nous reproduisons par date, puis par taux de compression les valeurs probables et les moyennes statistiques des températures en fin de compression et d'aspiration, puis leurs différences. Les résultats de la ventilation des erreurs maxima possibles sont inscrits sous forme de corrections dans les colonnes suivantes. Nous déterminerons un peu plus loin les valeurs respectives de ces différentes corrections.

Le tableau VIII.F indique ces corrections maxima, les valeurs des températures statistiques ainsi corrigées et leurs différences avec les températures probables. Ces dernières différences représentent les écarts nettement imputables à des causes aléatoires.

Enfin les trois dernières colonnes du tableau VIII.F se rapportent aux amplitudes des variations de températures : valeurs probables, moyennes statistiques corrigées, écarts correspondants.

TABLEAU VIII F

Application des corrections maxima aux moyennes statistiques des températures
déterminer le minimum des écarts imputables à des causes aléatoires. (Les vitesses de
sans correction

Date	Température extérieure °K	Capteur N°	Taux de compression	Fin de compression										Moyenne statistique corrigée	Ecart corrigé	
				Température probable °K	Moyenne statistique	Ecart.	Correction									
							de capteur	de réglage optique	de température extérieure	de réglage électrique	totale					
28.6:	299:	1	:6,9	613,6:	623,6:	+10,1:-	5,4:	-	-	0,5	-	4,2:	-10,1:	613,5	0	
29.6:	299:	1	:6,9	613,6:	617,5:	+ 4	-	5,4:	-	-	-	1,4:	-	4,0:	613,5	0
27.7:	298:	2	:5,4	577,5:	571,7:	-	5,8:	+ 6,2:	-	+	0,5	-	0,9:	+ 5,8:	577,6	0
27.7:	298:	2	:6,9	613,5:	603,3:	-10,2:	+ 6,9:	-	+	0,5	+	2,8:	+10,2:	613,5	0	
27.7:	298:	2	:9,75	682	685,1:	+ 1,1:	+ 8,6:	-	+	0,5	-	4,0:	+ 5,1:	688,2	+ 6,2	
2.8:	296:	2	:5,4	577,5:	558,5:	-19	+	5,9:	-	+	0,5	+	4,6:	+11,0:	569,5	- 8,0
2.8:	296:	2	:6,9	613,5:	602,6:	-10,9:	+ 6,9:	-	+	0,5	+	3,5:	+10,9:	613,5	0	
2.8:	296:	2	:9,75	682	694	+12	+	9,0:	-	+	0,5	-	4,6:	+ 4,9:	698,9	+ 16,9
5.10:	292:	3	:6,9	613,5:	644,7:	+31,2:-	2,8:	-	5,6:-	0,5	-	4,6:	-12,5:	631,2	+ 17,7	
6.10:	292:	3	:5,4	577,5:	585	+ 7,5:-	2,4:	-	4,8:-	0,5	-	0,3:	- 7,5:	577,5	0	
6.10:	292:	3	:8,4	649,5:	666,6:	+17,1:-	3,1:	-	6,2:	-	-	4,6:	-13,9:	552,7	+ 3,2	
2.12:	284:	3	:6,9	613,5:	596,7:	-16,8:-	2,6:	+ 5,6:	+ 0,5	+	4,6:	+ 8,1:	604,8	- 8,7		
2.12:	284:	3	:8,4	649,5:	610,2:	-19,3:-	2,8:	+ 6,2:	+ 0,5	+	4,6:	+ 8,5:	628,7	-10,8		
0.12:	284:	3	:6,9	613,5:	601,9:	-11,6:-	2,6:	+ 5,6:-	0,5	+	4,6:	+ 8,1:	610,0	- 3,5		
0.12:	284:	3	:8,4	649,5:	632,4:	-17,1:-	2,8:	+ 6,2:-	0,5	+	4,6:	+ 8,5:	640,9	- 8,6		

TABLEAU VIII F (Suite)

enregistrées en cours de compression de l'air seul dans un moteur C.F.R. en vue de rotation étant ramenées à 840 tours/minute).
de déphasage).

Milieu d'aspiration											Amplitude de la variation de température			
Température probable °K	Moyenne statistique	Ecart	Correction						Moyenne statistique corrigée	Ecart	Amplitude probable °C	Moyenne statistique corrigée	Ecart d'amplitude	
			de capteur	de réglage optique	de température extérieure	de réglage électrique	totale							
343,2	352,8	+9,6	- 0,9	-	- 0,5	- 3,7	- 5,1	347,7	+ 4,5	270,3	265,8	- 4,5		
343,2	350,8	+7,6	- 0,9	-	-	- 3,7	- 4,6	346,2	+ 3,0	270,3	267,3	- 3		
325,2	330,9	+5,7	+ 0,7	-	+ 0,5	- 3,7	- 2,5	328,4	+ 3,2	252,3	249,1	- 3,2		
343,2	334,8	-8,4	+ 0,8	-	+ 0,5	+ 3,7	+ 5,0	339,8	- 3,4	270,3	273,7	+ 3,4		
347,4	353,9	+6,5	+ 1,2	-	+ 0,5	- 3,7	- 2,0	351,9	+ 4,5	334,6	336,3	+ 2		
325,2	319,9	-5,3	+ 0,5	-	+ 0,5	+ 3,7	+ 4,7	324,6	- 0,6	252,3	244,9	- 7,4		
343,2	321,8	-21,4	+ 0,7	-	+ 0,5	+ 3,7	+ 4,9	326,7	-16,5	270,3	286,8	+16,5		
347,9	340,9	-6,5	+ 1,0	-	+ 0,5	+ 3,7	+ 5,2	346,1	-1,3	334,6	352,8	+18,2		
343,2	337,5	-5,5	- 0,4	- 1,3	- 0,5	+ 3,7	+ 1,5	339	- 4,2	270,3	292,2	+21,9		
325,2	325,1	-0,1	- 0,3	- 1,3	- 0,5	+ 2,2	+ 0,1	325,2	0	252,3	252,3	0		
355,7	341,1	-14,6	- 0,4	- 1,3	0	- 3,7	- 5,4	346,5	- 9,2	293,8	306,2	+12,4		
343,2	349,9	-6,7	- 0,6	+ 1,3	+ 0,5	- 3,7	- 2,5	347,4	+ 4,2	270,3	257,4	-12,9		
355,7	355,6	-0,1	- 0,6	+ 1,3	+ 0,5	- 1,1	+ 0,1	355,7	0	293,8	283,0	-10,8		
343,2	367,8	+24,6	- 0,7	+ 1,3	- 0,5	- 3,7	- 3,6	364,2	+ 21	270,3	245,8	-24,5		
355,7	375,8	+20,1	- 0,7	+ 1,3	- 0,5	- 3,7	- 3,6	372,2	+16,5	293,8	268,7	-25,1		

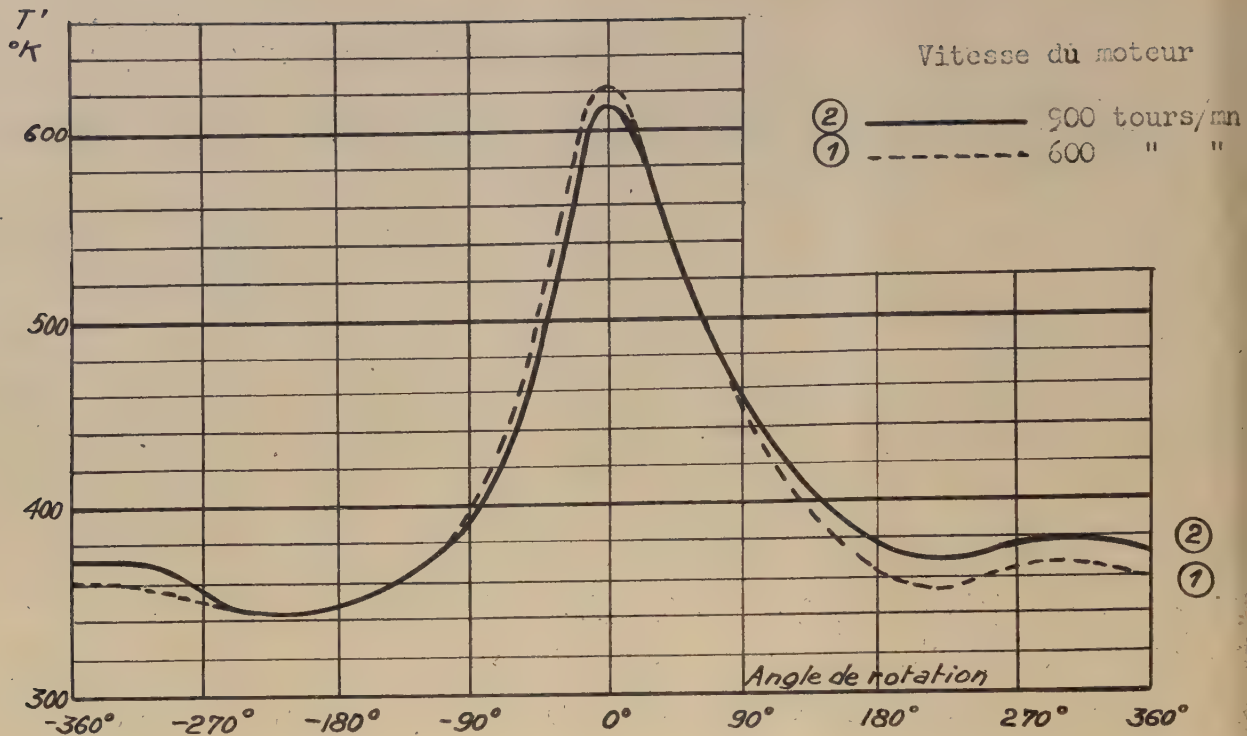


Fig. VIII 8 Diagrammes moyens de température enregistrés (sans correction de déphasage) après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté en air seul. Taux de compression : 6,9.

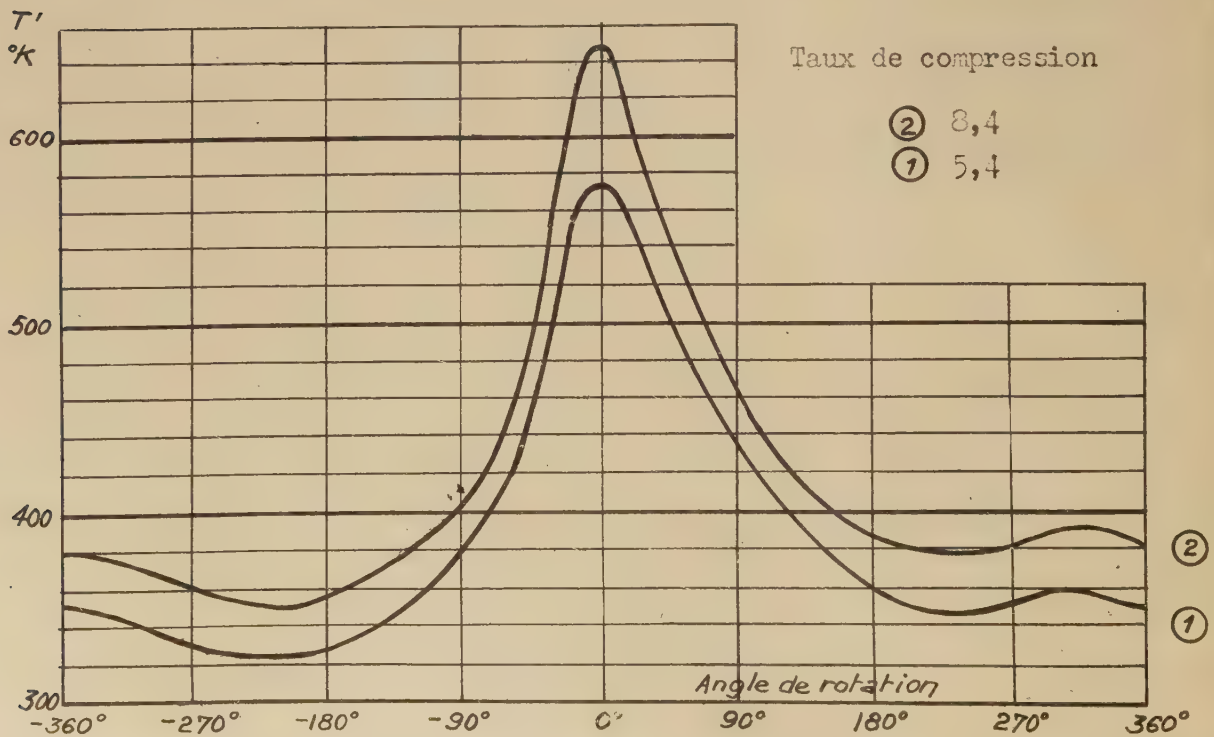


Fig. VIII 9 Diagrammes moyens de températures enregistrées (sans correction de déphasage) après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté en air seul et tournant à 900 t/mn.

Les résultats de la détermination des corrections maxima sont les suivants :

Pour le capteur N° 1 : - 1,7° C par 100° d'élévation de température
" N° 2 : + 2,25° C par 100° d'élévation de température
" N° 3 : - 0,82° C par 100° d'élévation de température,

la même correction s'appliquant à toutes les mesures faites avec chacun de ces capteurs;

pour le régime optique de l'appareil de prise de vue, au maximum $\pm 1,8^{\circ}\text{C}$ pour 100° d'élévation de température, la même correction s'appliquant à la totalité des enregistrements exécutés avec le même réglage optique;

pour chaque journée d'essais nous avons appliqué une correction uniforme de 0,5 dans le sens opposé au plus grand écart observé.

Le réglage électrique comporte deux ajustages qui se renouvellent pour chaque film, l'un en petite largeur, l'autre en grande largeur de spot. Les erreurs sur ces deux opérations peuvent être de sens contraire pour un même film. Par contre, les erreurs commises sur chacun de ces deux réglages peuvent être de même sens pour tous les films d'un même groupe d'essais. Nous avons donc appliqué indépendamment l'une de l'autre des corrections pouvant aller jusqu'à $\pm 4,6^{\circ}\text{C}$ en fin de compression et $\pm 3,7^{\circ}\text{C}$ au milieu de l'aspiration.

VIII.5 - COMPARAISON DES RESULTATS. -

L'emplacement du capteur de température ne semble pas avoir une influence appréciable sur les résultats des mesures. Les écarts entre les températures enregistrées, toutes choses égales d'ailleurs, près de l'orifice de la bougie d'allumage ou près de l'aiguille sauteuse sont faibles, pas tous de même sens et inférieurs à la précision des enregistrements.

Cette observation nous autorise à considérer que les mesures de température au moyen d'un thermomètre à résistance renseignent d'une manière satisfaisante sur l'ensemble de la masse évoluant dans un cylindre de moteur.

Sur un même film, les écarts entre températures mesurées sont de l'ordre de :

+ 8 à 20° C en fin de compression.

+ 8° C en cours d'aspiration.

Entre les moyennes de température par film et par jour les écarts sont en majorité inférieurs à :

$\pm 10^{\circ}\text{C}$ en fin de compression

+ 8° C en cours d'aspiration.

VIII.6 - CONCLUSIONS - DIAGRAMMES MOYENS DE TEMPERATURE ENREGISTRES EN COURS DE LA COMPRESSION DE L'AIR SEUL EN REGIME STABILISE. -

L'examen statistique des enregistrements de température a montré :

- la difficulté de stabiliser les échanges de chaleur entre le moteur et l'extérieur.

- l'importance de variation de fonctionnement dont nous ne sommes pas maîtres.

- la possibilité d'éliminer partiellement ces inconvénients lorsqu'on dispose d'un nombre de résultats expérimentaux suffisant, ce qui a permis d'établir que :

- avec le taux de compression, la température en fin de compression varie suivant une loi à peu près linéaire.

- l'influence de la vitesse de rotation sur la température enregistrée en fin de compression est faible.

Il permet de déterminer les valeurs moyennes statistiques des températures remarquables des diagrammes enregistrés. Parmi les diagrammes enregistrés nous avons choisi, en vue d'une étude plus approfondie, quelques cycles dont les températures remarquables se rapprochent bien des moyennes statistiques.

Les résultats de la lecture de ces diagrammes exprimés en degrés Kelvin en fonction de l'angle de rotation du moteur sont représentés sur les figures :

VIII.8 pour le taux de compression 6,9 à 600 et 900 t/mn.

VIII.9 pour les taux de compression 5,4 et 8,4 à 900 t/mn.

Ces diagrammes indiquent la température de filament mesureur et non celle du milieu ambiant. L'origine des angles de manivelle correspond sur ces diagrammes au maximum de température du filament.

L'écart angulaire entre la température du filament et celle du milieu environnant a fait l'objet de mesures spéciales dont nous allons communiquer les résultats. Il nous sera ensuite possible de restituer à partir de ces résultats les diagrammes de température vraie de la masse emprisonnée dans le moteur.

CHAPITRE IX

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES MESURES EXÉCUTÉS DANS LE CYLINDRE D'UN MOTEUR ALIMENTÉ EN AIR SEUL

IX.1 - METHODE D'INTERPRETATION. -

Nous communiquons d'abord les résultats des mesures de déphasage dont la connaissance permettra de restituer les diagrammes véritables de température dans le cylindre à partir des diagrammes enregistrés.

Cette restitution étant effectuée, nous déterminerons la masse emprisonnée sur laquelle nous devons raisonner. Nous transcrirons ensuite les résultats sur le diagramme entropique et nous en déduirons une évaluation des échanges thermiques entre l'air emprisonné et le moteur.

Nous essayerons enfin de dégager quelques conclusions de cette partie de notre étude.

IX.2 - RESULTATS DES MESURES DE DEPHASAGE DES ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE SANS CARBURANT. -

Nous avons déjà reproduit (Fig. IV.6) un des enregistrements exécutés. Les résultats de nos mesures de déphasage ont été respectivement :

18	+ 4	21	+ 5	22	± 4	degrés d'angle
	- 5		- 3			

aux vitesses de :

620

750

900

t/mn.

La précision étant de $\pm 2 \frac{1}{2}$ degrés d'angle, nous voyons que le phénomène lui-même de déphasage de l'enregistrement se produit avec une dispersion importante.

Etant donné la précision des mesures et le caractère variable des conditions de turbulence les variations de déphasage en fonction du taux de compression ne peuvent pas être affirmées.

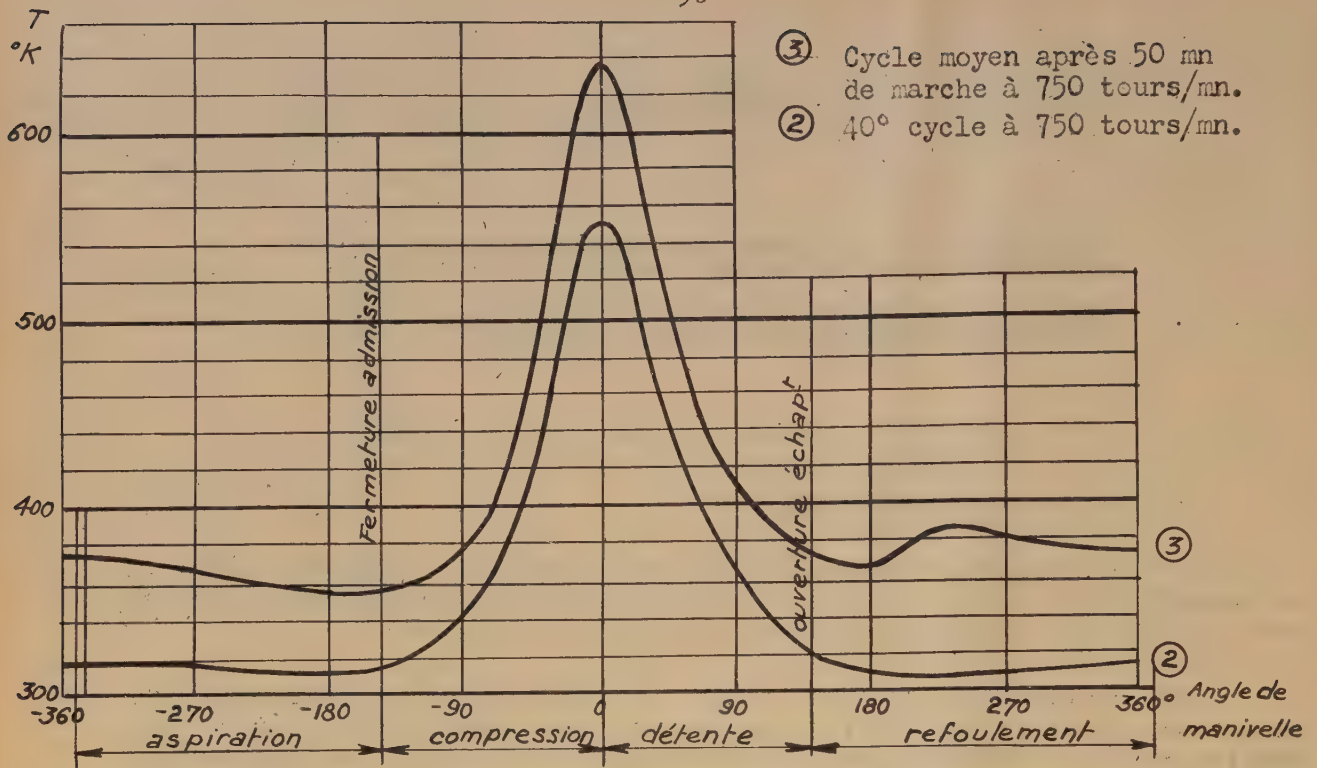


Fig. IX 1 Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes de températures enregistrées avant stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre alimenté en air seul. Taux de compression : 6,9. (cf. fig. VII 6).

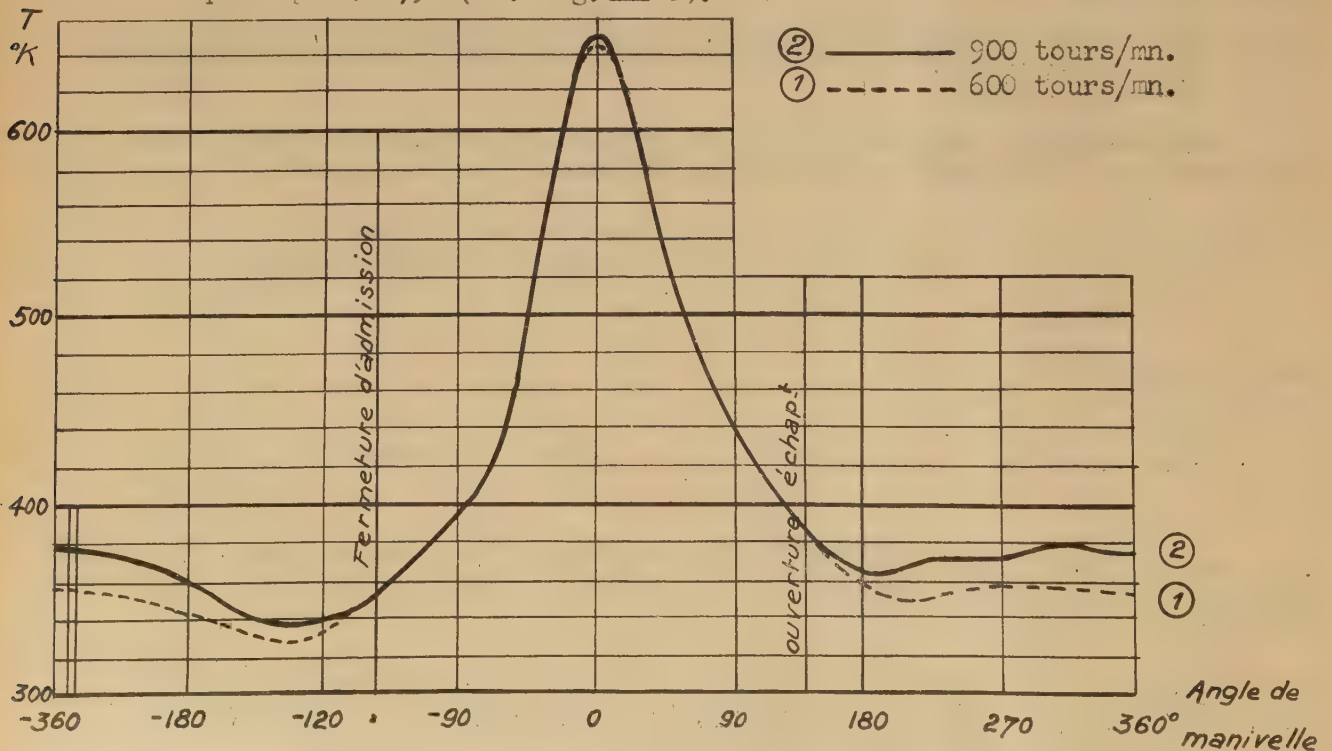


Fig. IX 2 Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes moyens de température en régime stabilisé dans un cylindre alimenté en air seul. Taux de compression : 6,9. (cf. fig. VIII 2).

IX.3 - ELIMINATION DE L'INFLUENCE DU DEPHASAGE SUR LES ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE. -

a/ - Analyse harmonique et méthode d'élimination du déphasage.

La période des phénomènes enregistrés correspond à la moitié de la vitesse de rotation du moteur.

On peut dire avec une approximation suffisante que le déphasage mesuré se rapporte à l'harmonique de rang 2 si nous convenons de donner le rang 1 au fondamental.

Nous avons donc exécuté au moyen d'un analyseur OTT avec un déphasage correspondant à la moitié du déphasage mesuré l'analyse harmonique des diagrammes à interpréter. L'analyse a été poussée jusqu'au terme de rang 9 mais les coefficients deviennent faibles aux environs du 6^e harmonique. L'exactitude des coefficients était contrôlée par une synthèse harmonique.

Nous avons ensuite calculé les coefficients du diagramme restitué par application des formules déjà indiquées (IV.1/b) puis nous avons fait la synthèse du diagramme.

b/ - Reproduction de quelques diagrammes de température restitués en fonction de l'angle de manivelle.

Les diagrammes que nous avons choisis pour en reproduire la restitution (Fig. IX. 1 à 3) se répartissent de la manière suivante :

1 diagramme enregistré avec le taux de compression 6,9 aussitôt après avoir atteint la vitesse de 750 t/mn.

1 diagramme enregistré après 50 mn. de fonctionnement dans les mêmes conditions.

2 diagrammes enregistrés avec le taux de compression 6,9 après stabilisation des échanges thermiques à 600 et 900 t/mn.

2 diagrammes enregistrés après stabilisation des échanges thermiques à 900 t/mn avec les taux de compression 5,4 et 8,4.

Leur comparaison avec les diagrammes non restitués que nous avons reproduits à la fin des deux Chapitres précédents montre que le déphasage ne modifie sensiblement la forme des diagrammes qu'au voisinage du maximum de température.

IX.4 - DETERMINATION DE LA MASSE D'AIR EMPRISONNEE DANS LE CYLINDRE DU MOTEUR ENTRE LA FERMETURE DE LA SOUPAPE D'ADMISSION ET L'OUVERTURE DE LA SOUPAPE D'ECHAPPEMENT. -

La masse d'air emprisonnée est égale à la somme de la masse d'air

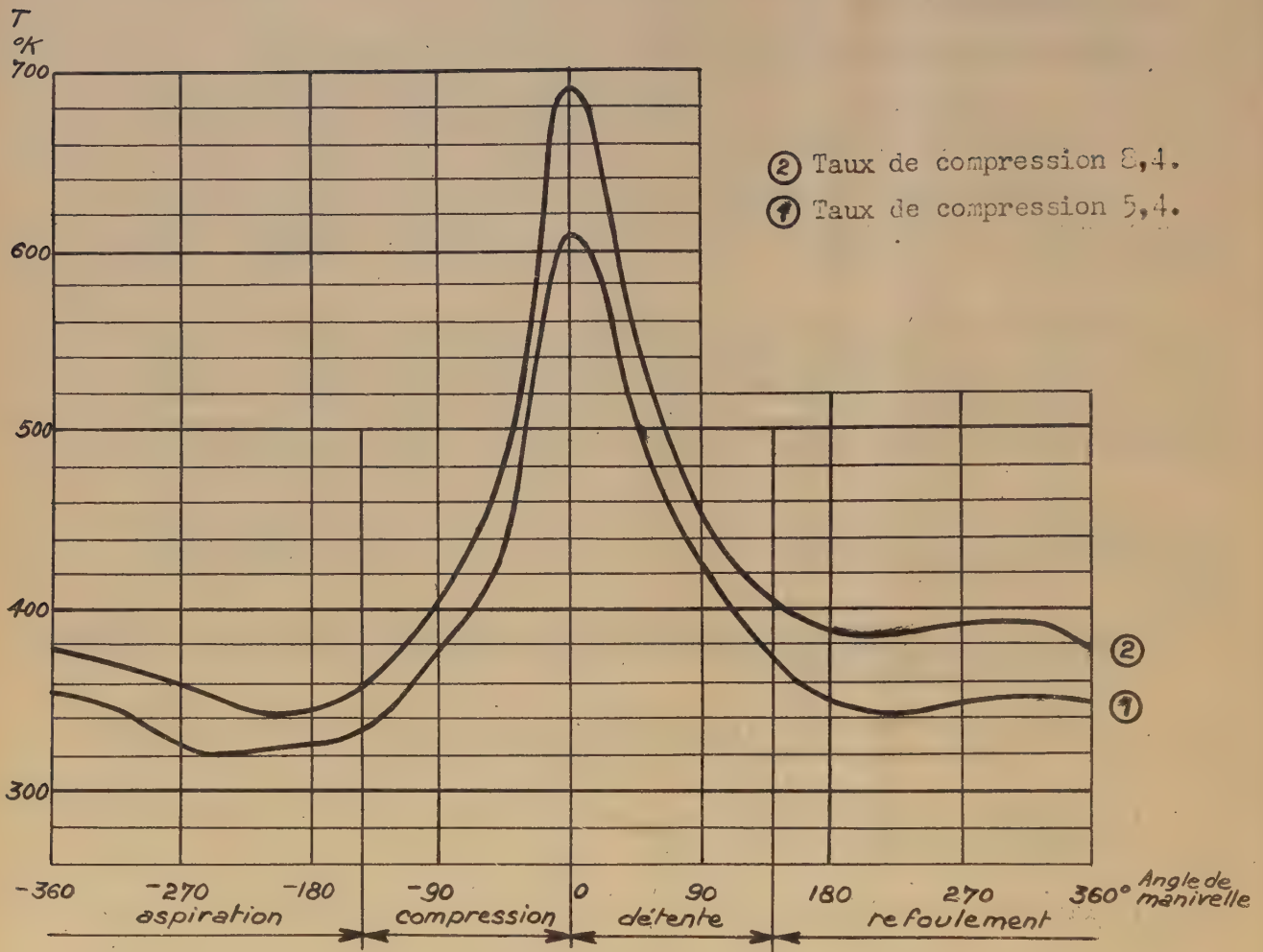


Fig. IX 3

Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes moyens de températures enregistrées après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté en air seul et tournant à 900 t/mh. cf. Fig. VIII 9.

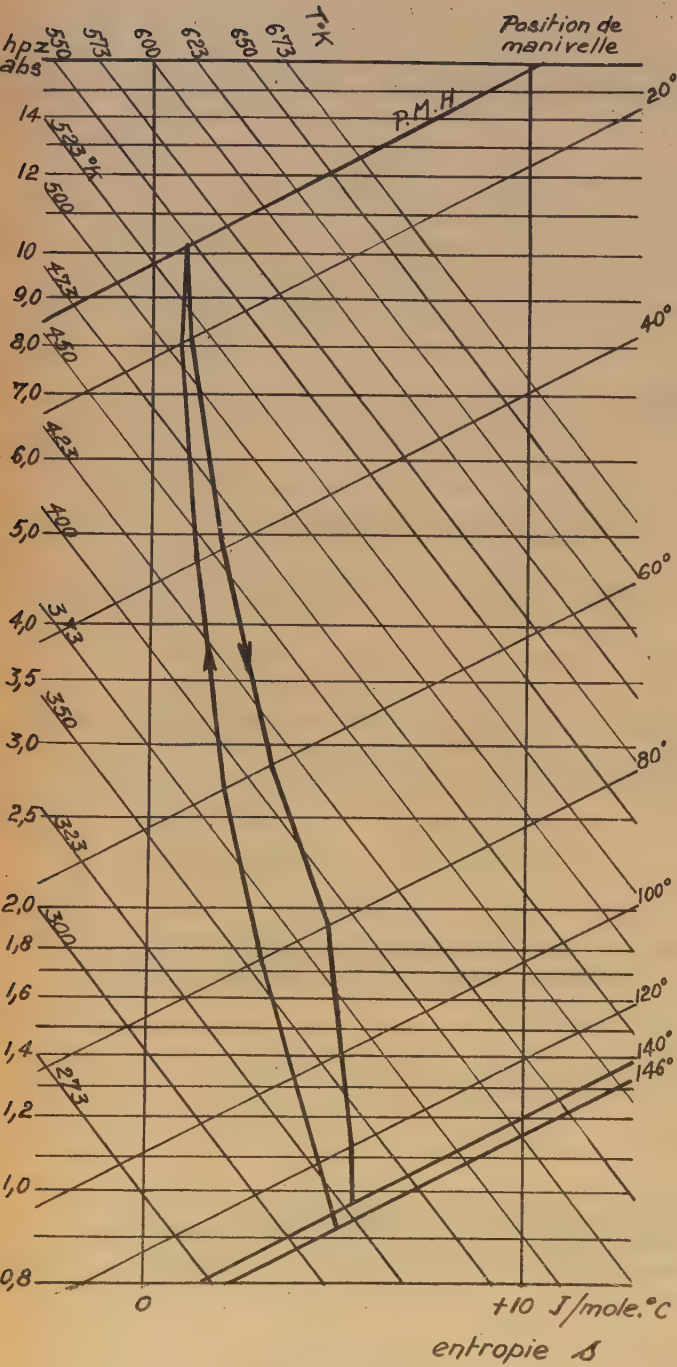


Fig. IX 4 a

40^e Cycle. Vitesse : 750 tours/mn.
Masse d'air emprisonnée : 0,0235 mole.

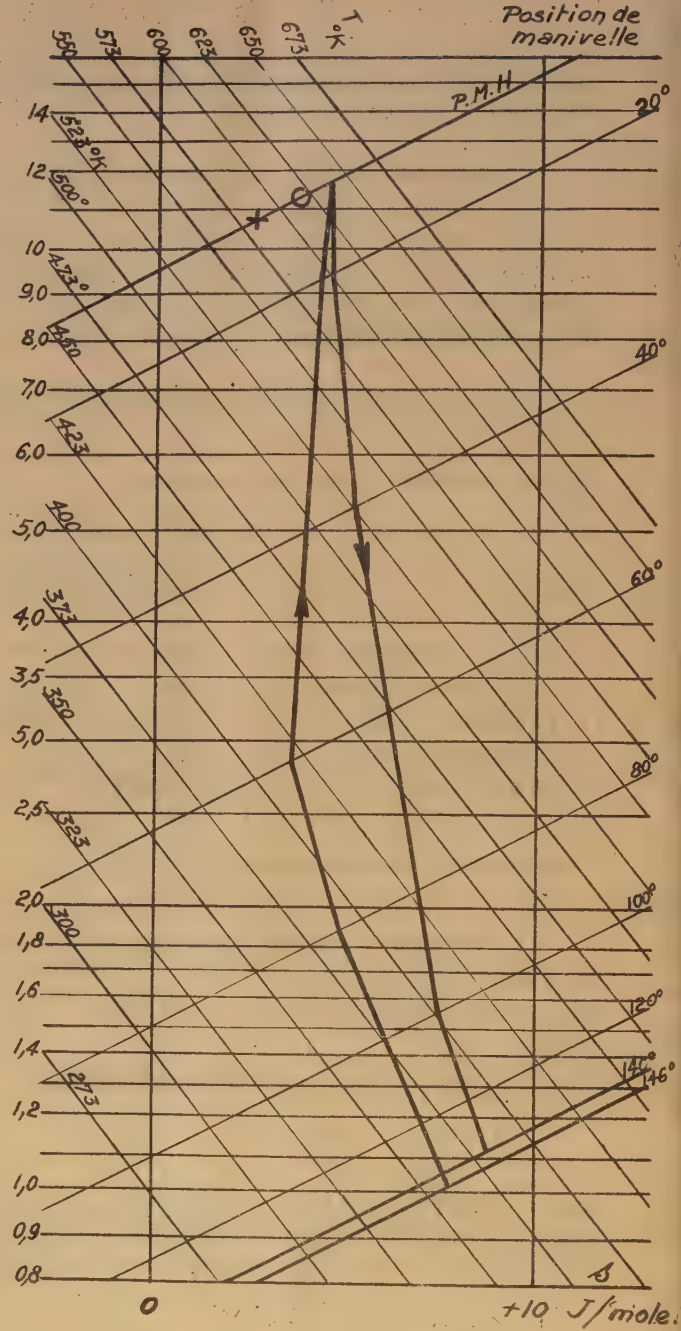


Fig. IX 4 b

○ pression mesurée par le manographe.
+ pression mesurée par l'acromètre.

Après 50 mn de marche à 750 tours/mn.
Masse d'air emprisonnée : 0,0229 mole.

Fig. IX 4 a et b : Représentation sur le diagramme $\log. p$ - S des enregistrements de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente de l'air seul, avant stabilisation des échanges thermiques. Taux de compression : 6,9. (cf. fig. IX.1).

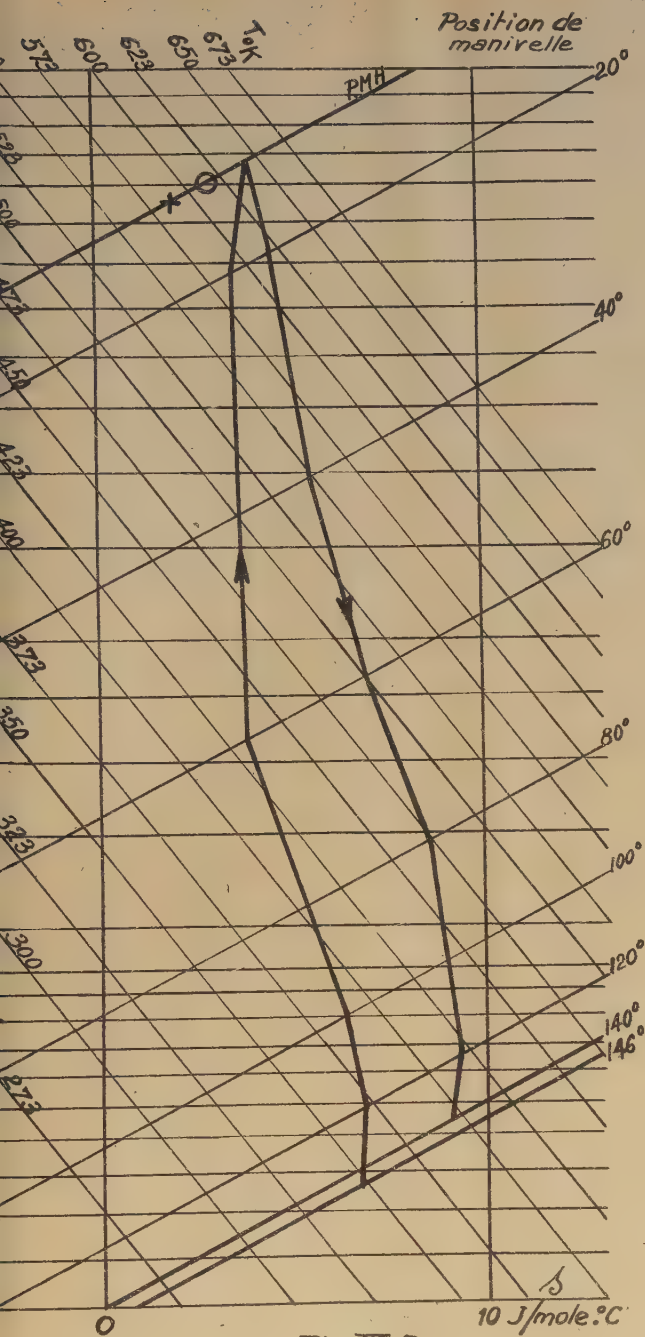


Fig. IX 5a

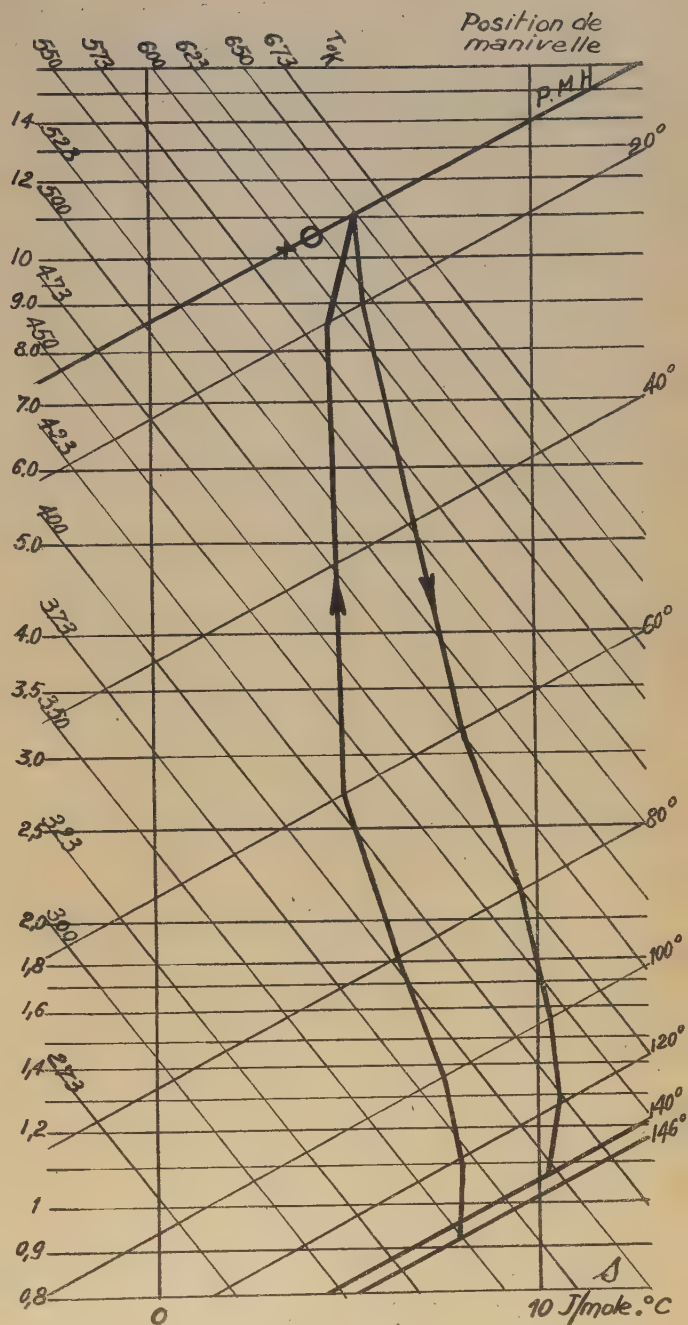


Fig. IX 5b

○ pressions mesurées en fin de compression par le manographe strobo-cathodique.
 + pressions mesurées en fin de compression par l'acromètre C.F.R.

Vitesse : 600 tours/mn.
 Masse d'air emprisonnée : 0,0246 mole.

Vitesse : 900 tours/mn.
 Masse d'air emprisonnée : 0,0213 mole.

Fig. IX 5 a et b : Représentation sur le diagramme δ -log. p. des enregistrements moyens de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente après stabilisation des échanges thermiques. Taux de compression : 6,9. (cf. Fig. IX 2).

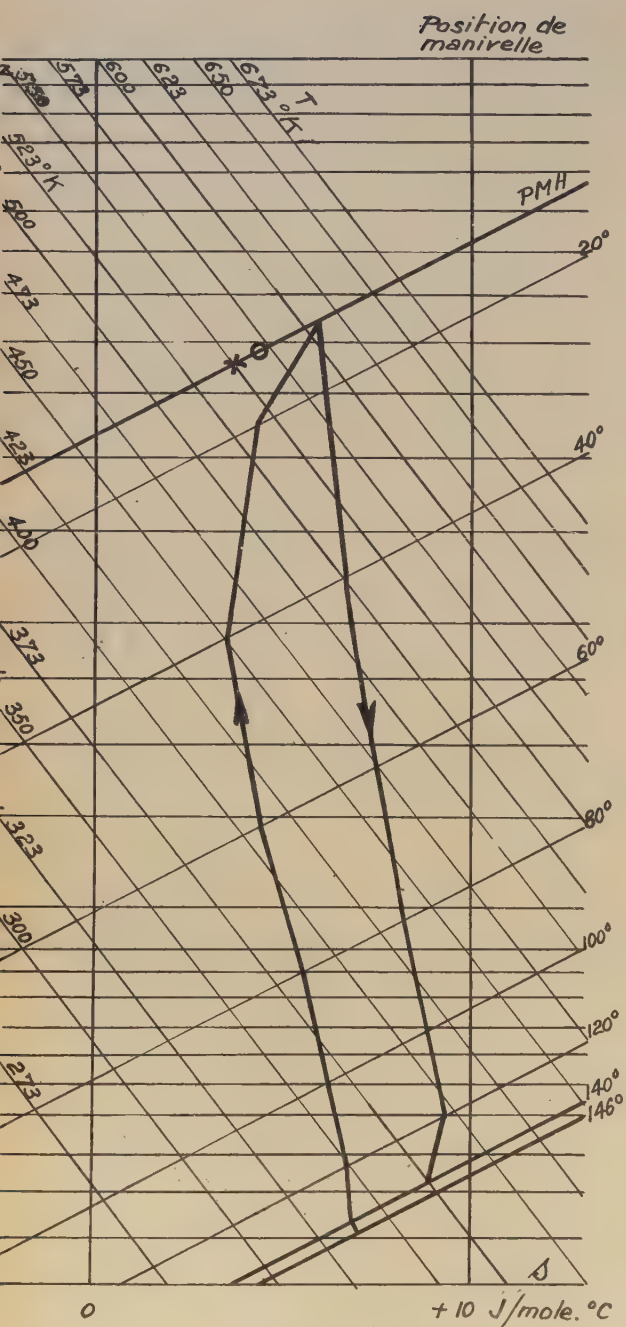


Fig. IX 6a

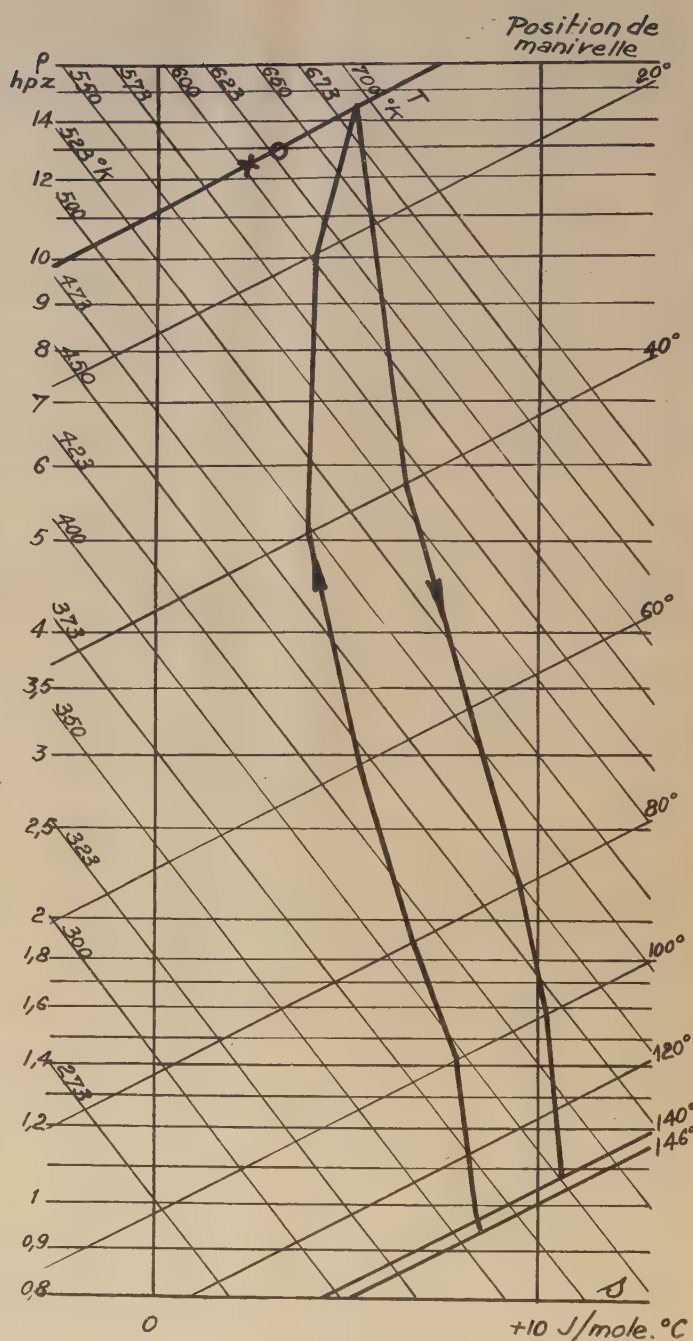


Fig. IX 6b

○ pressions mesurées en fin de compression par le manographe stroboscopique.
+ pressions mesurées en fin de compression par l'acromètre C.F.R.

Taux de compression : 5,4.
Masse emprisonnée : 0,0226 mole.

Taux de compression : 8,4.
Masse emprisonnée : 0,0206 mole.

Fig. IX 6 a et b : Représentation sur le diagramme Δ -log. V des enregistrements de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente de l'air seul après stabilisation des échanges thermiques à la vitesse de 900 tr/mn. (cf. fig. IX 3).

IX.5 - REPRESENTATION SUR LE DIAGRAMME ENTROPIQUE DES PHASES DE COMPRESSION ET DE DETENTE. -

a/ - Le diagramme $\delta - \log p$, que nous avons adopté, possède tous les avantages du diagramme $\delta - \log \gamma$ ainsi que celui de représenter l'évolution des phénomènes dans le même sens que le diagramme de MOLLIER.

Nous avons reporté sur ce diagramme les points définis par l'espace offert et la température enregistrée affectée de la correction de déphasage (Fig. IX 4,5 et 6).

Nous y avons ajouté le point correspondant à la moyenne des pressions en fin de compression indiquées par l'acromètre et le manographe stroboscopique. Ces points se situent tous légèrement au-dessous du maximum des diagrammes de température (affectés de la correction de déphasage).

b/ - Le calcul des échanges de chaleur avec l'extérieur résulte immédiatement du tracé précédent. Il suffit, le diagramme étant partagé en tranches de compression et de détente, de multiplier dans chacune de ces tranches la variation d'entropie par la valeur moyenne de la température absolue et la masse de l'air emprisonnée.

Les résultats de ces calculs exprimés en Joules en fonction de l'angle de rotation sont reportés sur les figures IX.7 a,b,c,d.

IX.6 - CONFRONTATION DES RESULTATS OBSERVES AU COURS DE LA COMPRESSION DE L'AIR SEUL. -

a/ - L'examen de différents diagrammes enregistrés au bout de temps de fonctionnement plus ou moins longs permet de formuler les observations générales suivantes :

Le moteur, en tournant, reçoit de la chaleur qu'il transmet en partie à l'air contenu dans le collecteur d'admission ainsi qu'à l'air aspiré pendant le temps d'admission.

Pendant le temps de compression l'air cède une quantité de chaleur appréciable au moteur. Pendant la détente au contraire il reçoit une quantité de chaleur qui augmente à mesure que le moteur tourne et finit par se stabiliser à une valeur supérieure à la chaleur cédée pendant la compression.

b/ - La cause de l'échauffement d'un moteur fonctionnant sans allumage ne doit donc pas être attribuée au travail de compression mais plus vraisemblablement au frottement du piston sur la paroi du cylindre.

Une partie seulement de cette énergie de frottement se disperse définitivement dans le moteur. Une autre partie d'autant plus importante que le moteur a tourné plus longtemps est transmise à l'air aspiré de la manière suivante que nous avons schématisée sur les figures IX.8 a,b,c,d.

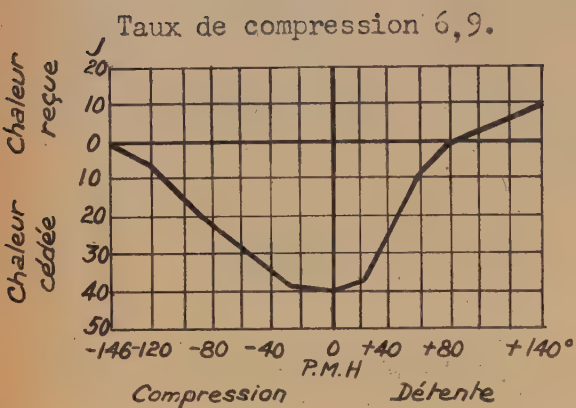


Fig. IX 7a

40^e cycle à 750 tours/mn.

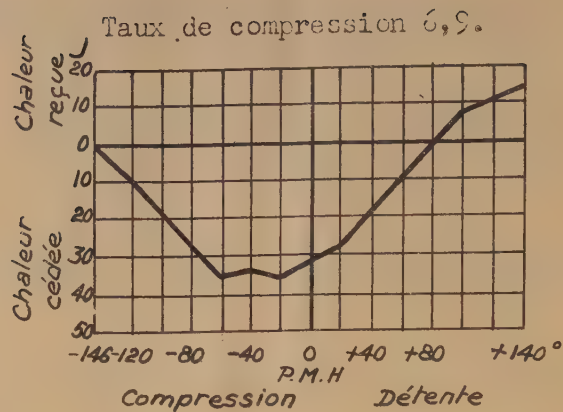


Fig. IX 7b

Après 50 mn de marche
à 750 tours/mn.

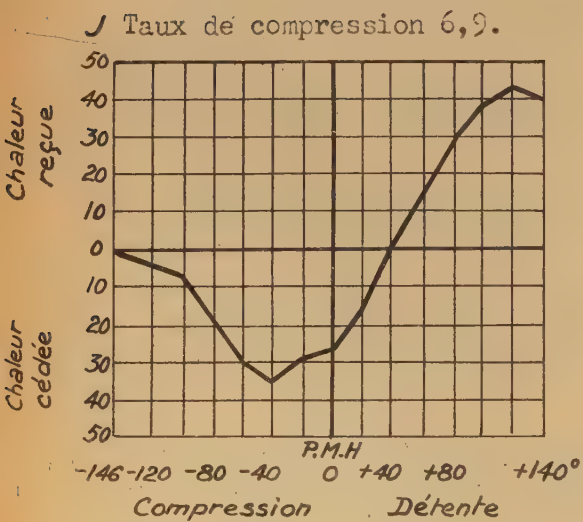


Fig. IX 7c

Après stabilisation des échanges
thermiques à 600 tours/mn.

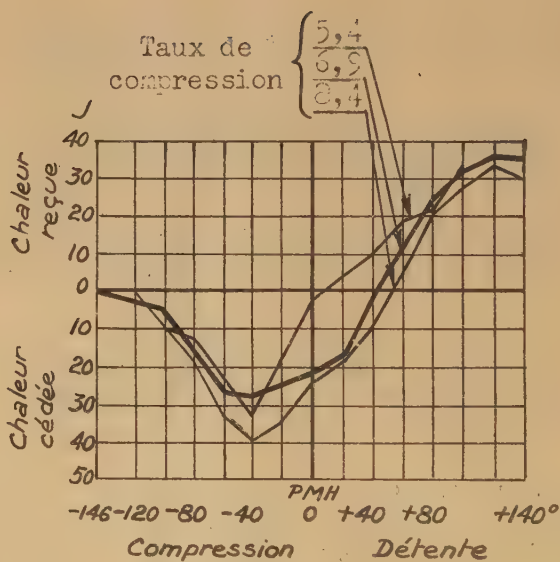


Fig. IX 7d

Après stabilisation des échanges
thermiques à 900 tours/mn.

Fig. IX 7 a,b,c,d, : Echanges thermiques avec l'extérieur pendant les temps de compression et de détente dans un cylindre de moteur alimenté en air seul.

IX.7 - REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES CIRCULATIONS DE CHALEUR. -

- a/ - Dans le collecteur d'admission de la chaleur emmagasinée dans le moteur est reçue par l'air stagnant (Fig. IX.8 a,b,c,d,) 10 J. env. (VI.I c).
- b/ - Pendant le temps d'aspiration dans le cylindre (Fig. IX, 8 a) l'air aspiré se mélange à l'air résiduel et se réchauffe au contact de la paroi du moteur (IX.4,c). Cette chaleur provient du frottement du piston, pendant le temps considéré et pendant le temps de refoulement précédent. Une partie de la chaleur de frottement se disperse dans le moteur.
- c/ - Pendant le temps de compression (Fig. IX.8 b et IX.7) l'air emprisonné s'échauffe par suite du travail de compression et cède une partie de sa chaleur au cylindre. Une portion de celle-ci se disperse mais la plus grande partie n'a pas le temps de s'évacuer et surchauffe la paroi intérieure du cylindre. Une partie également du travail de frottement des segments de piston n'a pas le temps de quitter la paroi intérieure du cylindre.
- d/ - Pendant la détente (Fig. IX.8 c) l'air emprisonné se refroidit moins vite qu'il s'est échauffé pendant la compression; il récupère la plus grande partie de la chaleur cédée à la paroi du cylindre ainsi qu'une partie de l'énergie développée par le frottement du piston pendant la compression et la détente (Fig. IX.7).
- e/ - Pendant le temps de refoulement (Fig. IX.8 d) l'air se réchauffe au contact des parois du cylindre. L'énergie de frottement des pistons s'emmagasine en grande partie sur les parois du cylindre pour être récupérée par l'air pendant la phase d'aspiration.
- f/ - Dans le collecteur d'échappement (Fig. IX.8 d) l'air refoulé abandonne une partie importante de la chaleur qu'il possédait encore à la sortie du cylindre.

IX.8 - TEMPERATURE DES PAROIS INTERIEURES. -

L'étude comparative de nos diagrammes de température conduit à la conclusion que la température des parois intérieures du cylindre est constamment variable. La chaleur transmise par suite des échanges thermiques avec le milieu emprisonné ou par suite du frottement des segments du piston serait relativement lente à se répartir dans la masse du cylindre. Elle s'accumulerait pendant les temps de compression et de refoulement sous une forme pelliculaire au voisinage immédiat de la surface de contact avec l'air emprisonné et serait ensuite récupérée en grande partie par celui-ci.

- a/ - Pendant l'aspiration la température des parois est égale à la température de la masse du moteur augmentée par une partie du travail de frottement pendant le refoulement et l'aspiration.

Elle est supérieure à celle de l'air qui se réchauffe à son contact.

b/ - Au début de la compression les parois s'échauffent moins rapidement que l'air emprisonné.

c/ - Vers le milieu de la compression la température de l'air emprisonné se rapproche de celle de l'air enfermé pour en différer très peu jusqu'au début de la détente.

d/ - Pendant la plus grande partie des phases de détente et de refoulement la température des parois est légèrement supérieure à celle de l'air.

IX.9 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE LA COMPRESSION DE L'AIR SEUL DANS UN CYLINDRE DE MOTEUR. -

a/ - En ce qui concerne l'allure des phénomènes.

Cette étude primitivement destinée à déterminer la valeur des échanges de chaleur avec l'extérieur en vue de tenir compte de leur influence dans le cas de la compression de l'air mélangé de brouillard volatil, nous a conduits à la conclusion que ces échanges ne peuvent pas être considérés comme de simples phénomènes de transmission de chaleur.

Le frottement des segments de piston sur la paroi du moteur semble jouer un rôle primordial. Il permet d'expliquer une grande partie de la dispersion des résultats enregistrés, ceux-ci dépendant de conditions de graissage dont nous sommes difficilement maîtres.

Nous sommes arrivés à éliminer partiellement cette dispersion en exécutant des enregistrements beaucoup plus nombreux qu'il avait été primitivement prévu. Tous les enregistrements ainsi exécutés indiquaient une évolution à peu près isentropique de l'air emprisonné, au voisinage de la fin de compression.

Ces observations nous conduisent à penser que l'énergie de frottement des segments de piston s'accumule sur la paroi du cylindre sous la forme d'une couche limite extrêmement mince dont la température suit de très près celle de la masse gazeuse et l'isole thermiquement de la masse du moteur.

Le volant thermique ainsi constitué doit avoir une épaisseur de quelques microns seulement [25.]

Monsieur EICHELBERG et ses collaborateurs ont montré dans le cas de moteurs Diesel en fonctionnement normal l'existence d'un volant thermique du même genre. Ils ont évalué à quelques dizaines de degrés seulement l'amplitude des variations de température de la paroi, mais il ne faut pas oublier qu'il ne leur a pas été possible d'approcher cette paroi à moins de 0,1 mm.

b/ - En ce qui concerne les résultats quantitatifs de nos mesures, les observations que nous venons d'exposer font ressortir la quasi-impossibilité de dégager une loi théorique acceptable des échanges de chaleur entre la

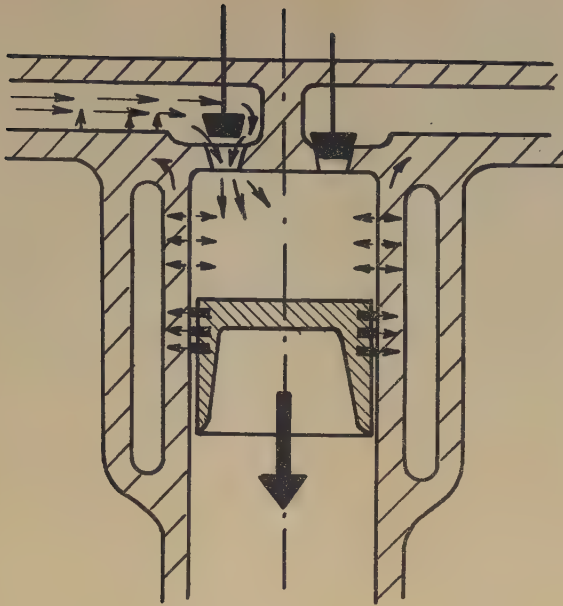


Fig. IX 8a

Temps d'aspiration

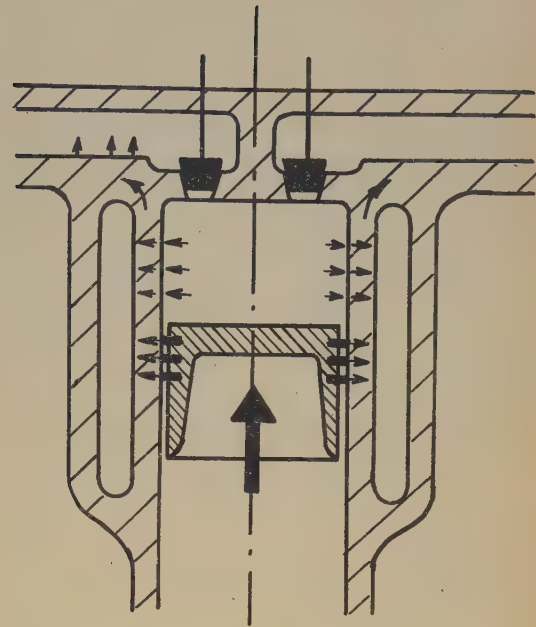


Fig. IX 8b

Temps de compression

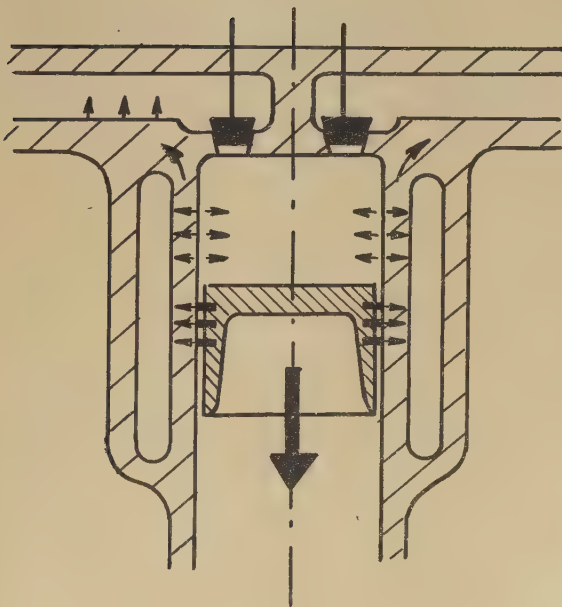


Fig. IX 8c

Phase de détente

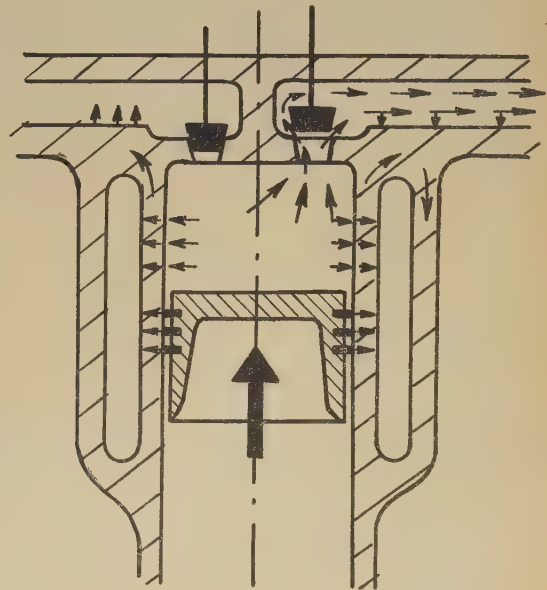


Fig. IX 8d

Temps de refoulement

Fig. IX 8 a,b,c, et d : Représentation schématique du sens des échanges dans un moteur fonctionnant sans allumage.

masse d'air enfermée dans le cylindre et l'extérieur, spécialement en fonction du taux de compression et de la vitesse de rotation.

Par contre, du point de vue purement expérimental, les résultats ont été assez cohérents pour permettre le tracé de diagrammes moyens de température ainsi que celui de courbes d'échanges de chaleur avec l'extérieur.

QUATRIEME PARTIE

ETUDE DE L'EVOLUTION D'UN MELANGE D'AIR ET DE CARBURANT VOLATIL DANS UN CYLINDRE DE MOTEUR FONCTIONNANT SANS ALLUMAGE

-:-:-

CHAPITRE X

MESURES DE PRESSION ET DE TEMPERATURE

DEPHASAGE DES ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE

X.1 - CONDITIONS GENERALES D'EXPERIMENTATION. -

Dès le début nous avons dû renoncer à monter les capteurs de phénomène à l'emplacement de la bougie d'allumage, et par voie de conséquence à exécuter des enregistrements simultanés de température et de pression.

A cet emplacement, en effet, l'orifice du capteur de pression ou l'acromètre s'obstrue rapidement au point de rendre toute mesure impossible tandis que le capteur de température se recouvre d'un mélange d'huile et de carburant qui augmente le coefficient de transmission du filament au point de fausser les enregistrements.

Les mesures de température et de pression ont donc été exécutées indépendamment en utilisant l'orifice de l'aiguille sauteuse qui est mieux protégé. Les réglages du carburateur ainsi que le contrôle des débits d'air et de carburant avaient été exécutés au cours d'une séance précédente.

Les conditions atmosphériques étaient voisines de 1 hectopièze absolu, 293°K.

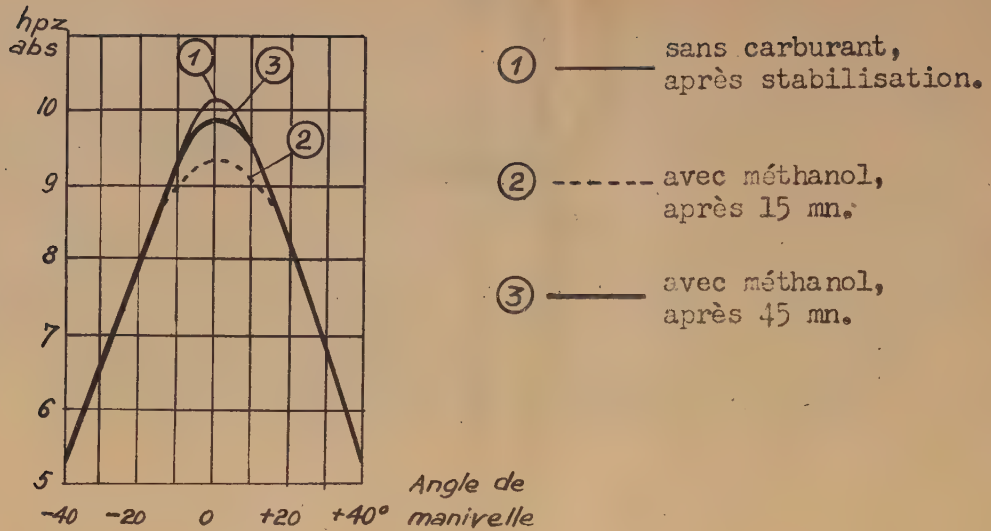


Fig. X1: Influence de l'introduction de méthanol (en richesse théorique) sur l'allure des diagrammes de pression sans allumage (900 tours/mn. Taux de compression: 6,9)

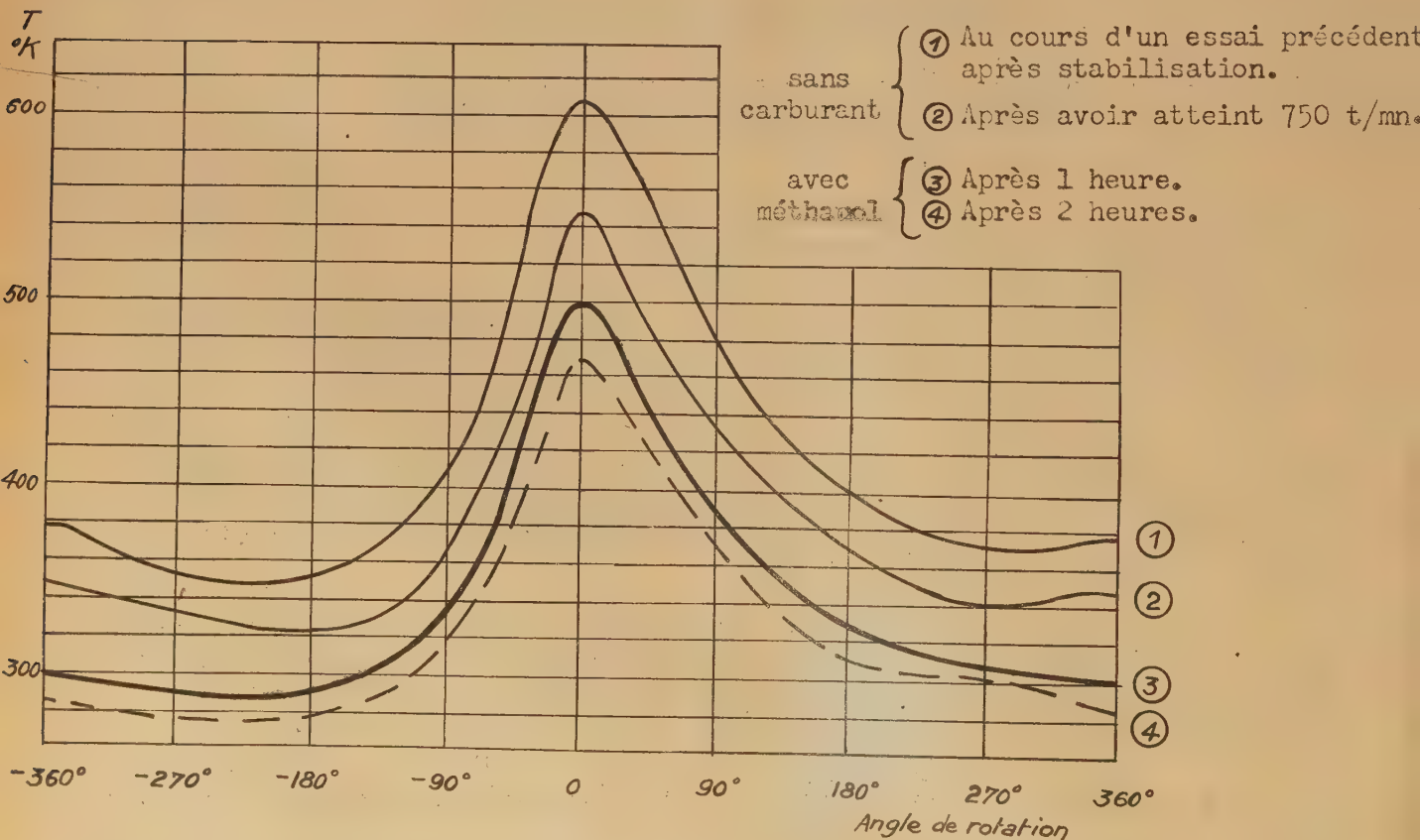


Fig. X4: Diagrammes de températures enregistrées (sans correction de déphasage) dans le cylindre d'un moteur alimenté successivement en air seul, puis en mélange air-méthanol, de richesse théorique.

750 tours/mn. Taux de compression: 6,9.

X.2 - MESURES DE PRESSION EN FIN DE COMPRESSION DU MELANGE AIR-METHANOL. -

Ces mesures ont été exécutées en richesse théorique et au double de la richesse théorique avec l'acromètre et le manographe strobocathodique en procédant de la manière suivante :

Nous avons laissé la température du moteur se stabiliser sans carburant et nous avons exécuté une première mesure dans ces conditions. Nous avons ensuite introduit le carburant et nous avons exécuté un certain nombre de mesures en notant le temps écoulé depuis l'introduction du carburant.

Les résultats de ces mesures ont été les suivants :

La pression en fin de compression avec carburant a tendance à se stabiliser à une valeur voisine de 0,5 hpz au-dessous de la pression correspondante sans carburant quelles que soient les conditions de fonctionnement.

L'allure des diagrammes de pression avec et sans carburant est extrêmement voisine (Fig. X.1).

X.3 - ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE DES MELANGES D'AIR ET DE CARBURANT DANS UN CYLINDRE. -

a/ - Mélanges étudiés.

La majorité de nos mesures a été effectuée avec des mélanges d'air et de méthanol en richesse 1 et 2. Nous avons complété ces mesures par quelques prises d'enregistrement avec des mélanges d'air et d'éthanol.

b/ - Essais exécutés.

Nous avons relevé un certain nombre de films de température entre le début de l'introduction de carburant dans le moteur et la stabilisation des échanges thermiques.

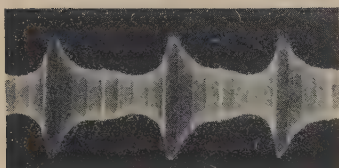
Certains essais ont été exécutés après avoir porté le moteur sans carburant à la vitesse de régime adoptée pour les mesures et enregistré un film après stabilisation des échanges de température dans ces conditions.

D'autres ont été effectués sur moteur froid alimenté en carburant dès le démarrage.

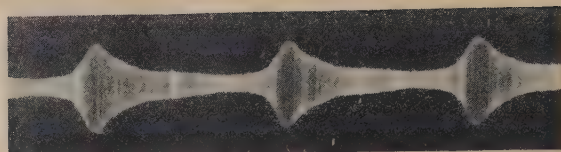
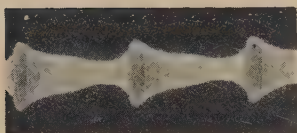
X.4 - ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE MELANGES AIR-METHANOL. -

a/ - Résultats expérimentaux.

Nous reproduisons sur les figures X.2 a,b,c,d, quelques enregistrements de température exécutés avec repérage de position, le capteur de température étant en place pendant tout le temps des mesures.

Fig. X. 2 a

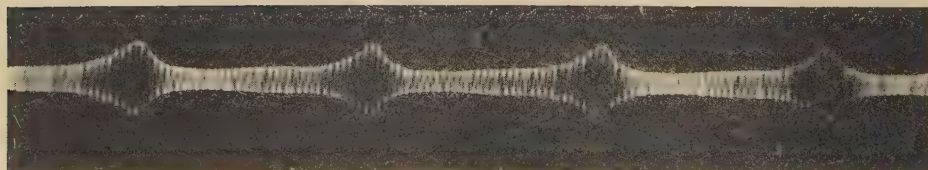
sans carburant

Fig. X. 2 bavec méthanol
en richesse 1Fig. X. 2 c

avec méthanol en richesse 2

après quelques
minutesFig. X. 2 daprès une heure
de marcheFig. X. 2 a, b, c, d

Influence du méthanol sur le déphasage des enregistrements de température en cours de compression, le capteur de température étant en place pendant toute la durée des mesures.



← Sens du déroulement

Fig. X. 3

Enregistrement de température dans le cylindre sans allumage après une heure de marche avec méthanol au double de la richesse théorique, le capteur de température étant mis en place juste avant la mesure.

Le premier de ces enregistrements a été obtenu sans carburant après stabilisation des échanges de température, le second dans les mêmes conditions avec un mélange air-méthanol en proportions théoriques ($r = 1$), le troisième après quelques minutes de fonctionnement avec un mélange air-méthanol au double de la richesse théorique ($r = 2$), le quatrième après stabilisation des échanges thermiques dans les mêmes conditions.

b/ - Observations d'ensemble et phénomènes secondaires.

L'examen des diagrammes, montre que si l'on ne prend pas de précautions particulières, ils ont tendance à prendre une forme s'écartant de plus en plus de celle des diagrammes sans carburant et caractérisée par une montée très rapide et une descente très lente. Dans ce cas, les diagrammes enregistrés sans carburant à la séance suivante ont une allure analogue à ceux enregistrés avec carburant. Le maximum prend une valeur intermédiaire entre le maximum avec carburant et le maximum enregistré sans carburant, dans des conditions normales.

Ces observations, faites en richesse théorique et au double de la richesse théorique ont un caractère encore plus accusé dans ce dernier cas dont les figures X.2 c et d fournissent un exemple. Pour une richesse donnée, l'aplatissement progressif du diagramme n'est pas accompagné d'une augmentation sensible du déphasage. Ceci indiquerait que les aplatissements de diagramme doivent être attribués à une autre cause qu'une diminution du coefficient de transmission de chaleur entre le milieu environnant le filament et celui-ci.

Il a été possible de retrouver, après une série de mesures avec carburant, les diagrammes de nos essais antérieurs sans carburant à condition de prendre les deux précautions suivantes :

- Bien éliminer le carburant du moteur en le faisant alternativement fonctionner à l'essence dans des conditions normales, et tourner sans carburant tous orifices ouverts.

- Bien nettoyer le filament du capteur de température après chaque série de mesures avec carburant et le remplacer toutes les fois qu'il y a doute à son sujet.

Les enregistrements obtenus avec carburant en richesse 1 après avoir pris ces précautions sont assez reproductibles et révèlent une stabilisation assez rapide du diagramme de température. L'allure des diagrammes se rapproche de celle des enregistrements sans carburant (fig. X.3).

Une précaution supplémentaire a été prise en richesse $r = 2$ c'est de ne laisser le capteur de température en place que pendant la mesure.

Il est possible que l'aplatissement observé lorsque toutes ces précautions ne sont pas prises vienne de ce qu'à la longue le filament s'enrobe de carburant liquide, une quantité infime étant suffisante pour fausser les enregistrements.

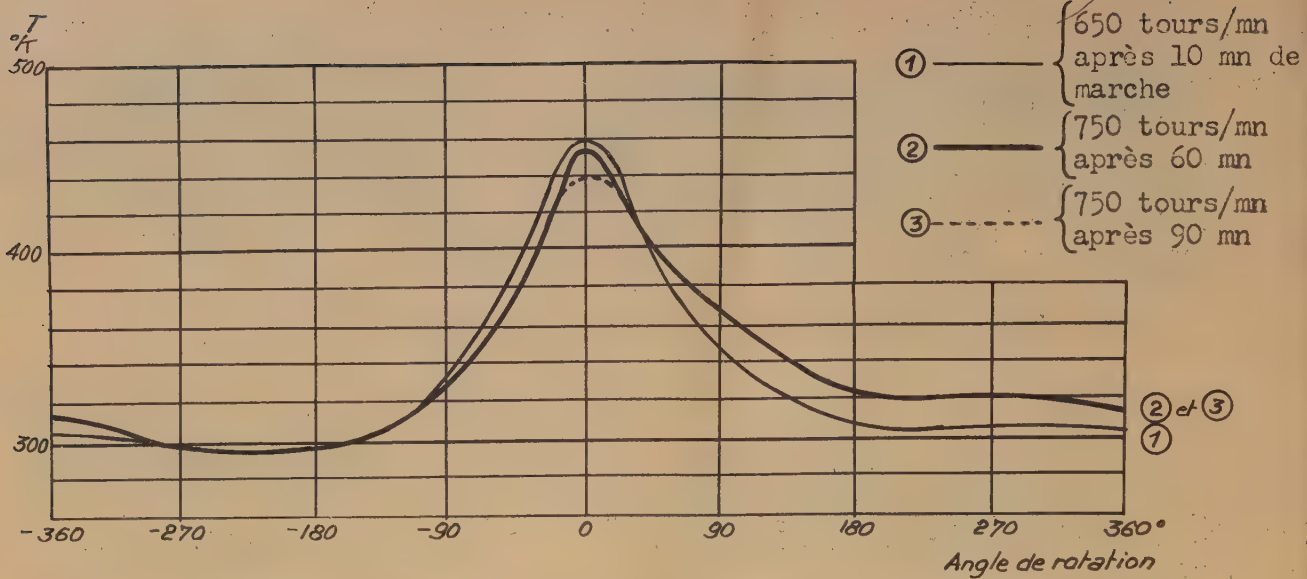


Fig. X5 : Diagrammes de températures enregistrées (sans correction de déphasage) dans un cylindre de moteur alimenté par un mélange d'air et de méthanol en richesse théorique. Taux de compression : 5,4.

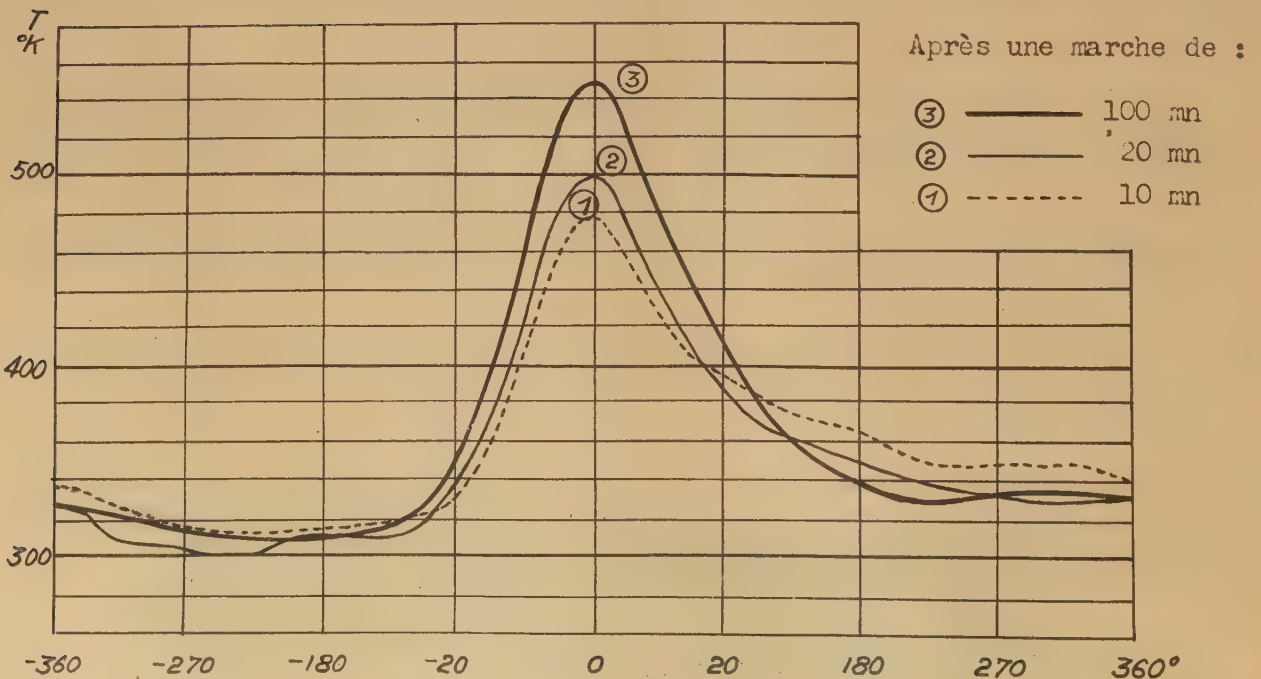


Fig. X6 : Diagrammes de températures enregistrées (sans correction de déphasage) dans un cylindre de moteur alimenté par un mélange air-carburant en richesse théorique. 750 tours/mn. Taux de compression : 8,4.

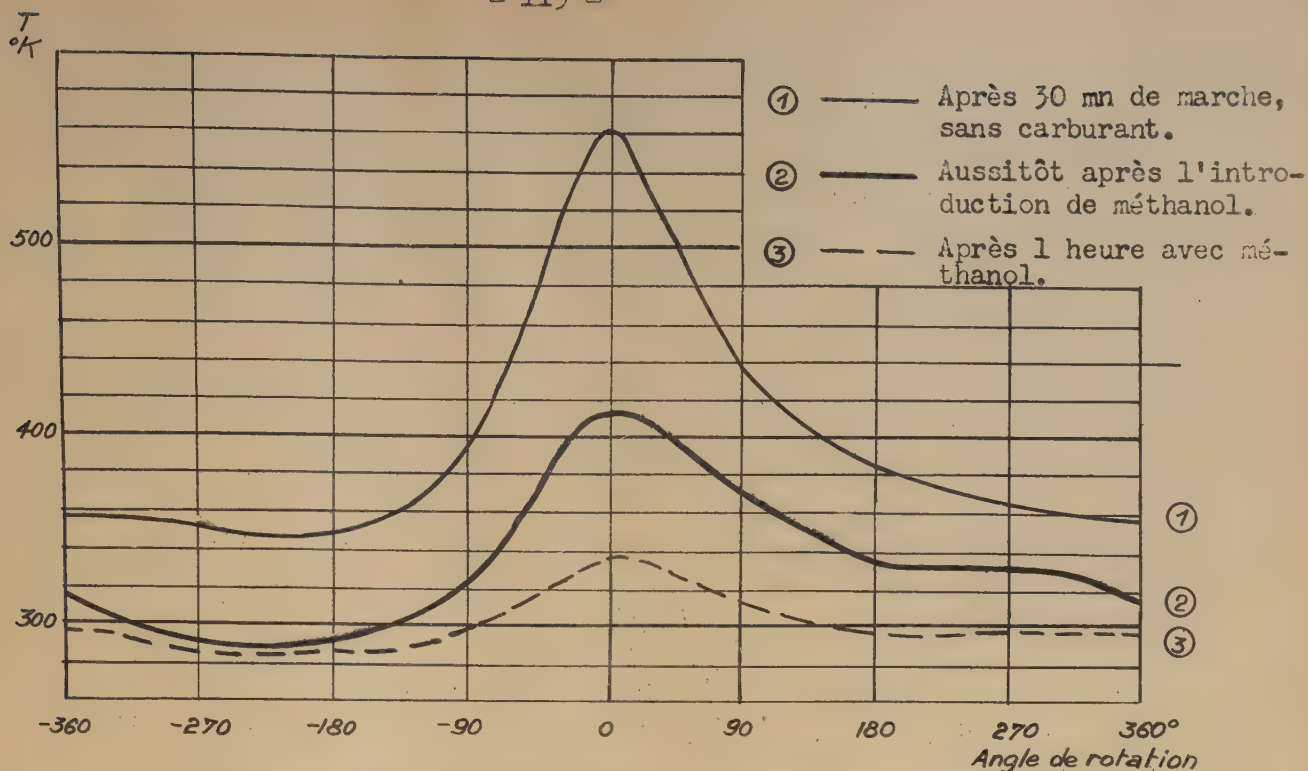


Fig. X 7 : Diagrammes enregistrés à 750 tours/mn, le capteur de température étant en place pendant toutes les durées des essais.

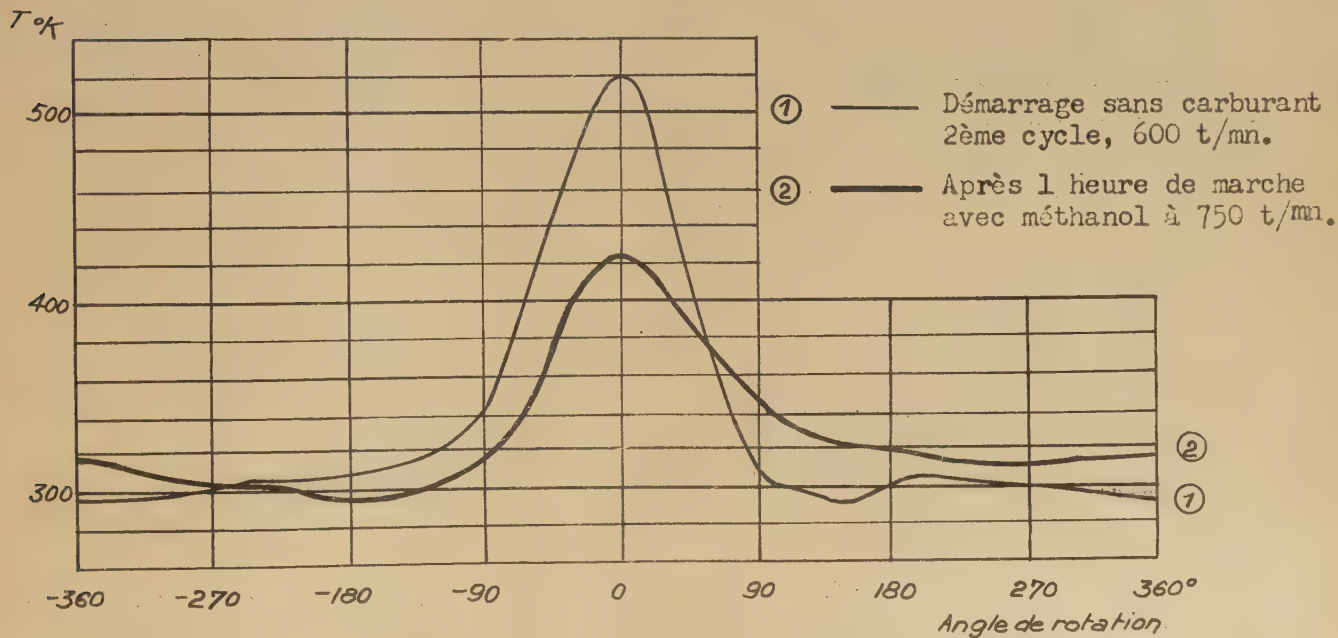


Fig. X 8 : Diagrammes enregistrés en mettant le capteur de température en place juste avant la mesure.

Fig. X 7 et 8 : Diagrammes de températures enregistrées (sans correction de déphasage) dans un cylindre de moteur alimenté successivement en air seul, puis en mélange air-méthanol au double de la richesse théorique. Taux de compression : 6,9.

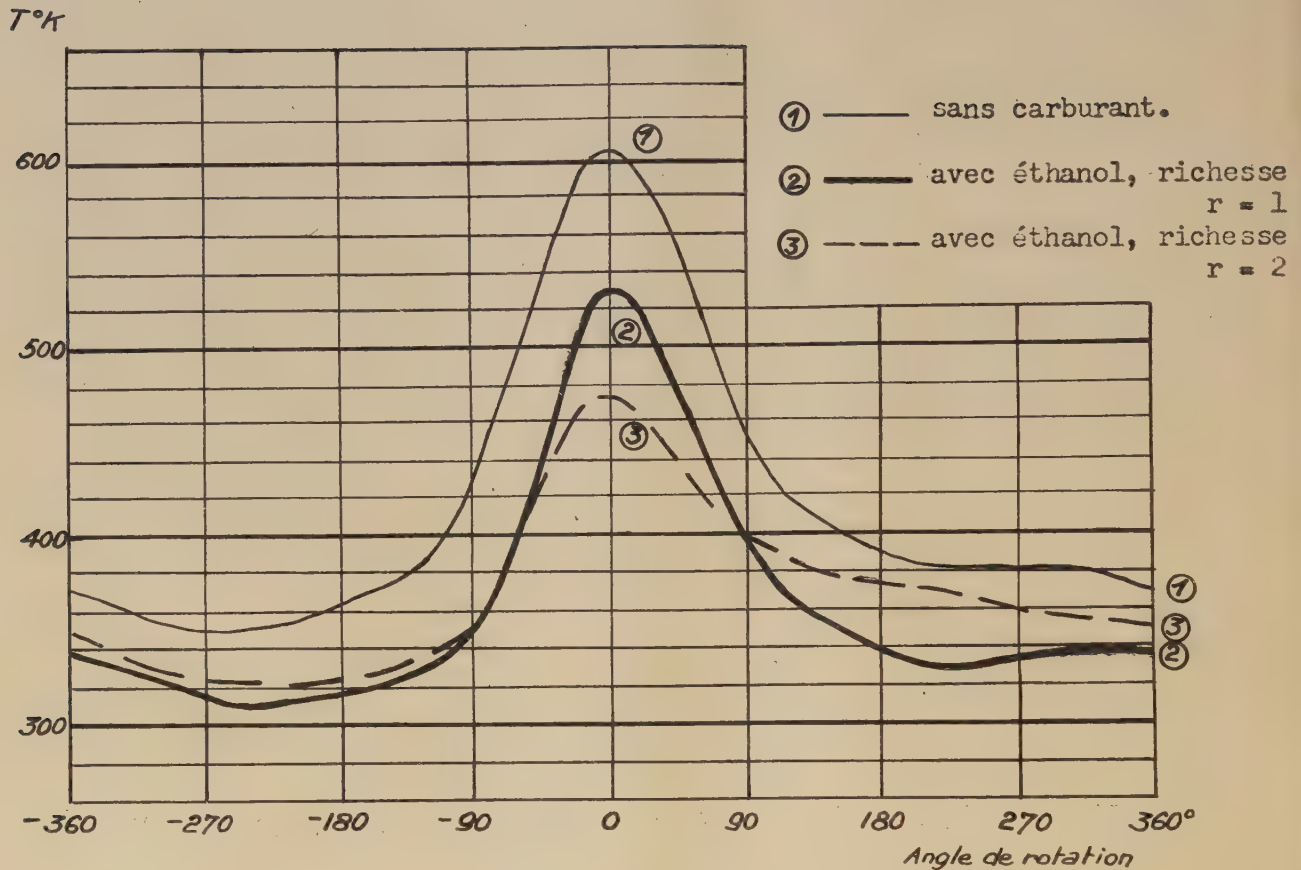


Fig.X 9 : Diagrammes moyens de températures enregistrées (sans correction de déphasage) après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté successivement en air seul, puis en mélange air-éthanol.

750 Tours/mn. Taux de compression : 6,9.

Le capteur de température étant en place pendant les mesures seulement.

c/ - Influence du méthanol sur la température mesurée en fin de compression le carburant liquide étant éliminé du moteur avant les essais et écarté du filament mesureur en cours d'essais.

Les températures en fin de compression déterminées dans ces conditions sont rassemblées sur le tableau X.

Les enregistrements exécutés en richesse théorique indiquent avec une bonne concordance une stabilisation de la température en fin de compression autour des valeurs suivantes (avant correction de déphasage).

400°K avec le taux de compression 5,4
490°K avec le taux de compression 6,9
540°K avec le taux de compression 8,4.

En richesse 2 avec le taux de compression 6,9 la température mesurée en fin de compression se stabiliserait autour de 420°K.

Nous complétons ces renseignements par la reproduction de quelques-uns des diagrammes de température obtenus dans ces conditions (Fig. X.4 à 8).

X.5 - ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE AU COURS DE L'EVOLUTION DU MELANGE AIR-ETHANOL. -

Une série de mesures de températures en cours de compression du mélange air-éthanol a été exécutée à 750 t/mn. avec le taux de compression 6,9.

Un film a été enregistré sans carburant après avoir laissé s'établir le régime des échanges thermiques pendant une heure environ.

Des films ont été enregistrés dans les mêmes conditions en richesse théorique, puis au double de la richesse théorique en ne laissant le capteur de température en place que le temps strictement nécessaire à la mesure.

La figure X.9 montre l'évolution de la température dans le cylindre en fonction de l'angle de manivelle.

En richesse théorique, l'ensemble des températures est plus bas que sans carburant, mais le diagramme conserve la même allure.

Au double de la richesse théorique, la diminution de température pendant la phase de détente est plus lente.

X.6 - INFLUENCE DU CARBURANT SUR LE DEPHASAGE DES ENREGISTREMENTS DE TEMPERATURE. -

Tenu compte de la précision et de la dispersion des mesures, les déphasages enregistrés (Fig. X.2 a,b,) ne présentaient pas de différence appréciable en richesse théorique et sans carburant.

Par rapport aux précédents les enregistrements exécutés au double de la richesse théorique au bout de quelques minutes et après une heure de fonctionnement présentaient par rapport aux précédents un supplément de décalage de l'ordre de 10° (Fig. X.2 c et d).

Nous verrons au début du Chapitre suivant (fig. XI.1 à 4) ce que deviennent après élimination de l'influence du déphasage les diagrammes enregistrés en prenant toutes les précautions nécessaires pour éloigner le carburant liquide du filament mesureur.

Quelle que soit la richesse, le déphasage a pour effet d'abaisser la température enregistrée en fin de compression; il a beaucoup moins de répercussion sur les autres parties du diagramme.

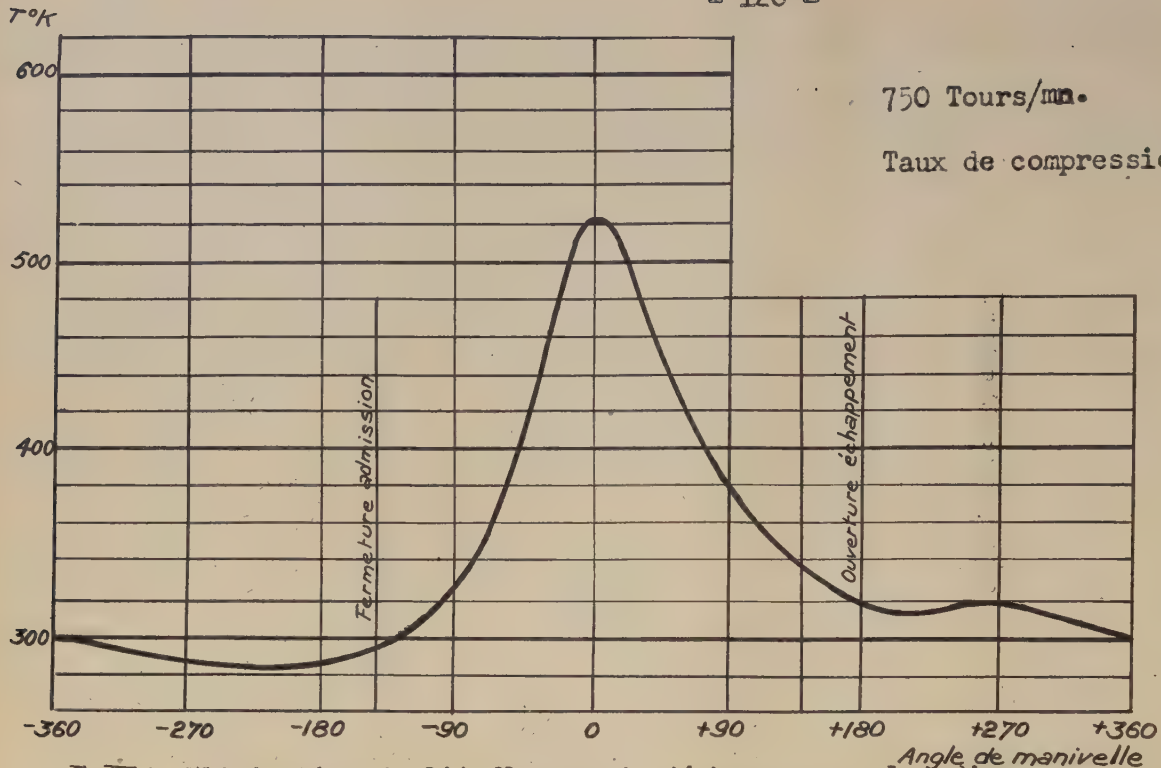


Fig. XI 1: Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes moyens des températures enregistrées après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté par un mélange air-méthanol en richesse théorique (cf. fig. X 5).

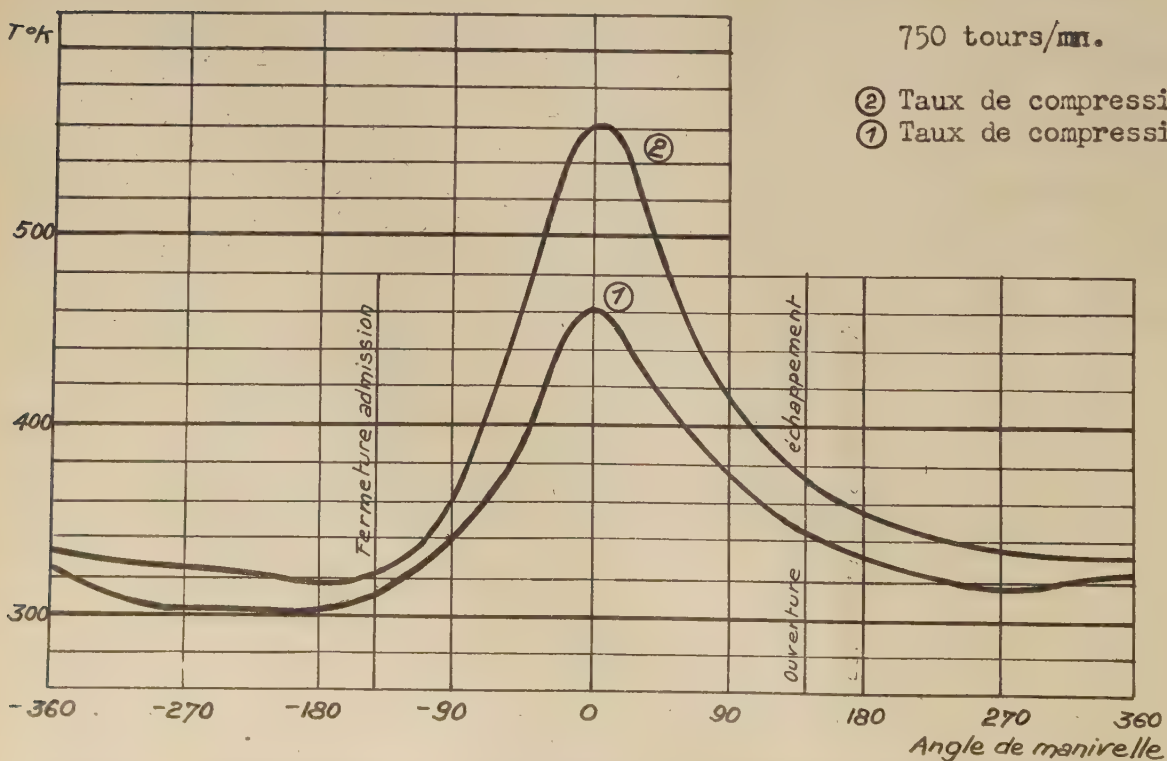


Fig. XI 2 : Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes moyens des températures enregistrées après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté par un mélange en méthanol en richesse théorique (cf. fig. X 6 et 7).

CHAPITRE XI

INTERPRETATION DES RESULTATS DES MESURES EXECUTEES

DANS UN CYLINDRE DE MOTEUR ALIMENTÉ EN AIR MELANGÉ DE METHANOL OU D'ETHANOL

XI.1 - EXEMPLES ETUDIES. -

Les diagrammes que nous allons examiner, après élimination de l'influence du déphasage, ont été enregistrés à 750 t/mn. Ils comprennent :

- 3 diagrammes enregistrés avec introduction de méthanol en richesse théorique ($r = 1$) dans les conditions suivantes (Fig. XI.1 et 2).

après une heure de fonctionnement, taux de compression : 6,9.
après 1 1/2 " de fonctionnement, taux de compression : 5,4.
après 1 3/4 " de fonctionnement, taux de compression : 8,4.

- 2 diagrammes enregistrés après introduction de méthanol au double de la richesse théorique ($r = 2$) avec le taux de compression 6,9 dans les conditions suivantes (Fig. XI.3) :

le premier aussitôt après l'introduction de carburant, celle-ci faisant suite à une marche prolongée sans carburant,

le second après une heure de fonctionnement avec carburant, le capteur de température n'étant en place que pour l'exécution de la mesure.

- 2 diagrammes enregistrés avec introduction d'éthanol l'un en richesse théorique, l'autre au double de la richesse théorique (Fig. XI.4), les autres conditions ayant été précisées au Paragraphe X.5.

Les diagrammes relatifs au méthanol correspondent aux résultats moyens d'enregistrements plus ou moins nombreux.

Les deux films enregistrés avec l'éthanol ont donné des résultats suffisamment cohérents par rapport aux précédents pour justifier d'être examinés à la suite de ceux-ci.

TABLEAU XI

résultats de l'étude de la phase d'aspiration dans le cylindre d'un moteur alimenté en air mélangé ou non de carburant.

	θ_6 °C	N_{06} mole	θ_3 °C	r_{03}	P_3 hpz	Q_3 J
- Sans carburant, taux de compression 6,9	100	0,0036	83	-	1,01	35
- Avec méthanol en richesse théorique ($r = 1$)						
Taux de compression : 6,9 après 50 mn.	25	0,0039	17	0,95	0,94	92
" : 5,4 après 1 1/2 h.	42	0,0047	34	1	1,00	108
" : 8,4 après 1 3/4 h.	55	0,0027	47	1	1,02	115
- Avec méthanol, richesse ($r = 2$)						
taux de compression : 6,9	68	0,0030	21	1,15	0,95	113
aussitôt après introduction de carburant :						
après une heure de marche, le capteur de :						
température étant mis en place juste :						
avant la mesure :	43	0,0033	21	1,15	0,95	113
- Avec éthanol, taux de compression : 6,9						
après une heure de marche, en richesse :						
théorique ($r = 1$)	69	0,0036	49	1	0,98	75
en richesse : $r = 2$	82	0,0033	57	2	1,06	130

XI.2 - MASSÉ DE MÉLANGE EMPRISONNÉE ENTRE LA FERMETURE DE LA SOUPAPE D'ADMISSION ET L'OUVERTURE DE LA SOUPAPE D'ÉCHAPPEMENT. -

C'est la somme de la masse aspirée et de la masse résiduelle en fin de refoulement.

L'expression de la masse emprisonnée est donc, pour l'air : $N_{a3} = N_a + N_{a6}$

pour le carburant : $N_{c3} = N_c + N_{c6}$

Nous avons vu que le débit d'air aspiré n'est pas influencé de façon observable par l'introduction de carburant.

La masse d'air aspirée pendant un temps d'admission du moteur à la vitesse de 750 t/mn est donc :

$$N_a = 0,0193 \text{ mole}$$

et la masse de carburant aspirée :

$$N_c = \frac{r \cdot N_a}{N_{st}}$$

En ce qui concerne la masse résiduelle nous supposons, comme dans le cas de l'air seul, que sa pression absolue est égale à $p_6 = 1,0 \text{ hpz abs.}$

La pression partielle de l'air est alors égale à :

$$p_{a6} = \frac{N_{st}}{r_{v6} + N_{st}}$$

Si nous appelons T_{g6} la température relevée sur le diagramme et V le volume résiduel en fin de refoulement, la masse résiduelle exprimée en moles sera :

$$N_{a6} = \frac{V_6}{R \cdot T_{g6}} \cdot \frac{N_{st}}{r_{v6} + N_{st}} \quad \text{d'air}$$

et

$$N_{v6} = \frac{V_6}{R \cdot T_{g6}} \cdot \frac{r_{v6}}{r_{v6} + N_{st}} \quad \text{de carburant.}$$

Dans le cas des diagrammes que nous étudions, la masse résiduelle est constituée par un mélange d'air et de carburant entièrement vaporisé. Nous remplaçons donc r_{v6} par r . Les valeurs de θ_6 relevées sur les diagrammes de températures corrigés et les valeurs de N_{a6} qui en résultent sont rassemblées sur le tableau XI.

XI.3 - ÉTUDE DE LA PHASE D'ASPIRATION. -

a/ - Pressions partielles et richesse en phase vapeur.

La pression partielle de l'air en fin d'aspiration résulte du volume offert, de la masse d'air emprisonnée et de la température lue sur le diagramme. Son expression est donc :

$$p_{a3} = \frac{R \cdot N_{a3} \cdot T_3}{V_3}$$

- ① ——— Film enregistré aussitôt après introduction du carburant dans un moteur ayant tourné précédemment avec de l'air seul.
- ② ——— Film enregistré après 1 heure de fonctionnement alimenté en mélange air-méthanol, capteur de température en place juste avant la mesure.

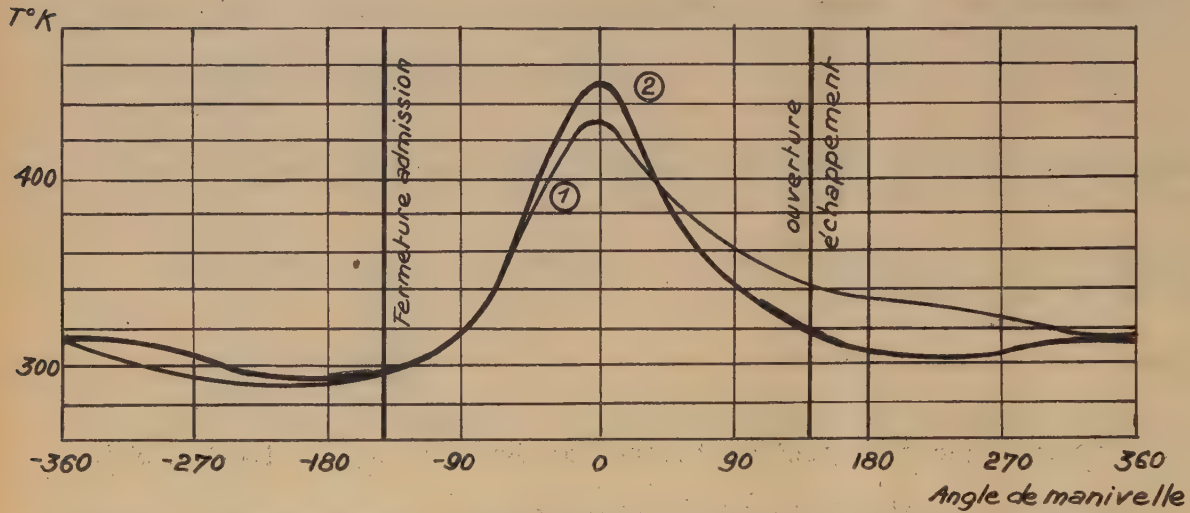


Fig. XI 3 : Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes moyens des températures enregistrées dans un cylindre de moteur alimenté en mélange air-méthanol au double de la richesse théorique. 750 tours/mn. Taux de compression : 6,9 (cf. fig. X 8 et 9).

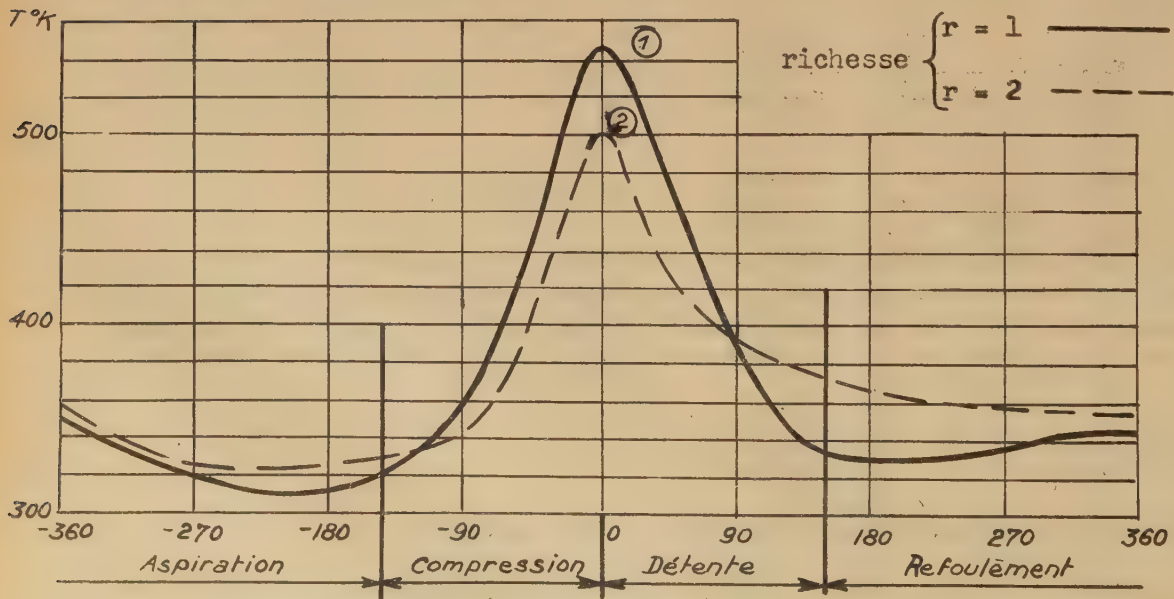


Fig. XI 4 : Elimination de l'influence du déphasage sur les diagrammes de températures enregistrées après stabilisation des échanges thermiques dans un cylindre de moteur alimenté avec un mélange air-éthanol. 750 tours/mn. Taux de compression : 6,9 (cf. fig. X 10).

Détermination de la richesse en phase vapeur et de la pression partielle du carburant en fin d'aspiration.

La connaissance de T_3 permet de relever sur la courbe de saturation du carburant la pression de saturation P_{f3} . Nous en déduisons la richesse du mélange saturé à la température T_3 :

$$r_{f3} = N_{st} \cdot \frac{P_{f3}}{P_{a3}}$$

si r_{f3} est inférieur à la richesse r du mélange introduit la vaporisation est partielle. La richesse en phase vapeur est alors : $r_{v3} = r_{f3}$

et la pression partielle du carburant : $P_{v3} = P_{f3}$

si r_{f3} est supérieur à r , la vaporisation est totale et la pression partielle du carburant a pour expression :

$$P_{v3} = \frac{r_{v3}}{N_{st}} \cdot P_{a3}$$

D'une manière générale la richesse en phase vapeur et la pression partielle du carburant peuvent s'exprimer de la manière suivante :

$$r_{v3} = N_{st} \cdot \frac{P_{v3}}{P_{a3}} \leq r$$

avec :

$$P_{v3} \leq P_{f3}$$

La pression totale du mélange en fin d'aspiration s'écrit, d'après notre système de notations :

$$P_3 = P_{a3} + P_{v3}$$

b/ - Calcul de l'énergie cédée par le moteur au mélange aspiré dans l'hypothèse de l'équilibre entre phases.

Tenant compte de ce que l'indice 3 se rapporte à la fin d'aspiration et l'indice 6 à la fin de refoulement, l'énergie cédée par le moteur a pour expression :

$$Q_3 = N_a \left\{ \frac{r_{v3}}{N_{st}} \cdot (L_0 \cdot c + C_{pc} \cdot \theta_3 - C_{\ell} \cdot \theta_0) + \left(\frac{r - r_{v3}}{N_{st}} \cdot C_{\ell} + C_{pa} \right) (\theta_3 - \theta_0) \right\} + \dots$$

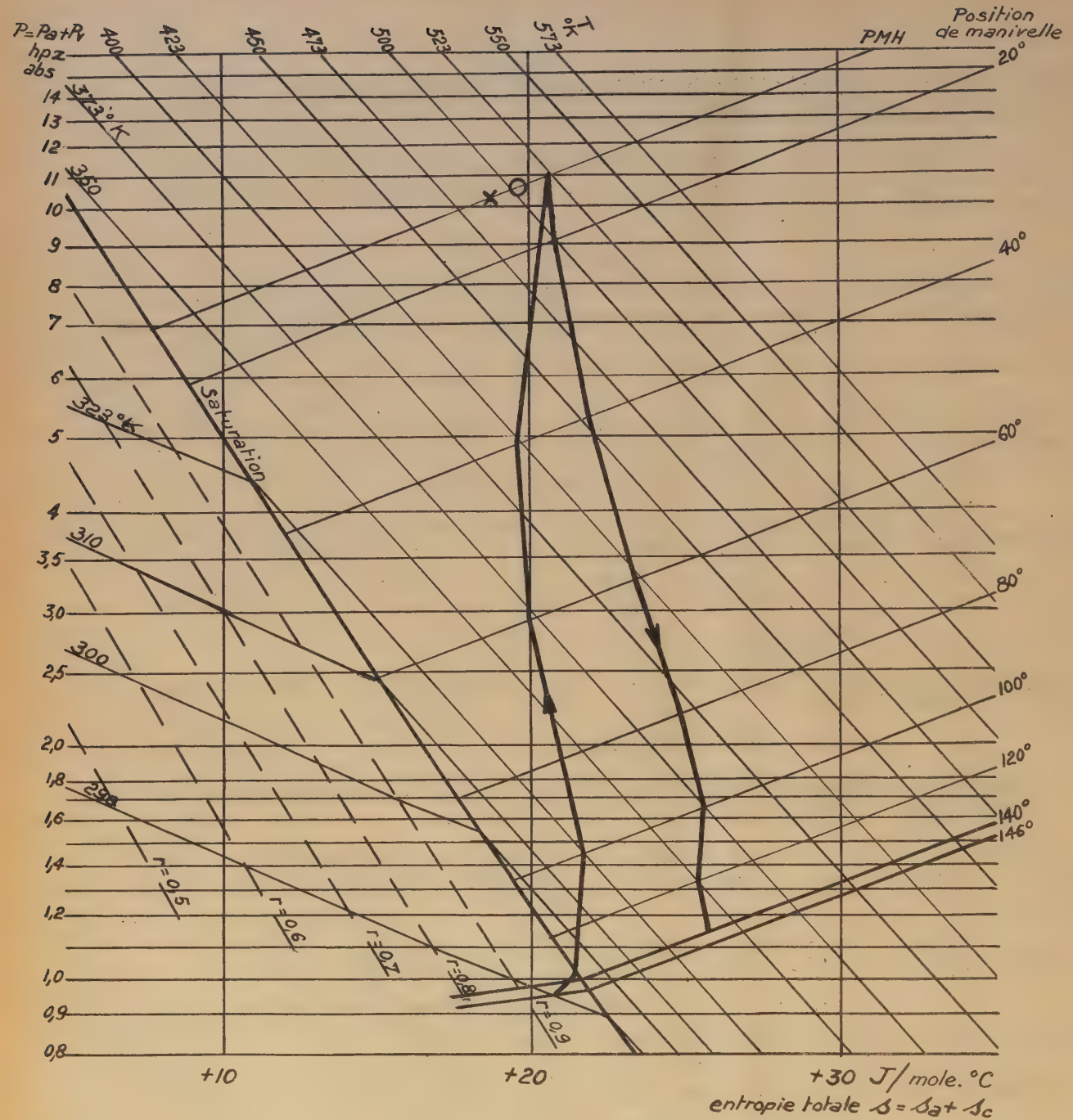
$$\dots + N_{a6} \left(r_{v6} \cdot \frac{C_{pc}}{N_{st}} + C_{pa} \right) (\theta_3 - \theta_6) - V(P_3 - P_0)$$

où nous pouvons généralement remplacer r_{v6} par r .

Dans le cas de l'air seul la formule se simplifie en :

$$Q_3 = N_a \cdot C_{pa} (\theta_{s3} - \theta_0) + N_{s6} \cdot C_{pa} (\theta_{s3} - \theta_{s6}) - V(P_{s3} - P_0)$$

Dans le cas des diagrammes étudiés l'application des formules ci-dessus donne pour r_{v3} , P_3 et Q_3 des valeurs que nous transcrivons sur le tableau XI à la suite des valeurs de θ_3 .



Moyenne des pressions mesurées :

- par le manographe strobocathodique.
- × par l'acromètre C.F.R.

Fig. XI 5 : Représentation sur le diagramme Δ -log. p. rapporté à 1 mole d'air d'un enregistrement de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente d'un mélange d'air et de méthanol de richesse théorique sans allumage. 750 tours/mn. Taux de compression : 6,9. Masse d'air emprisonnée : 0,0236 mole. (cf. Fig. XI 1).

Les conclusions de l'étude de la phase d'aspiration seront formulées un peu plus loin en même temps que celles relatives aux temps de compression et de détente.

XI.4 - ETUDE DES TEMPS DE COMPRESSION ET DE DETENTE. -

a/ - Diagramme δ -log p du mélange air-carburant dans l'hypothèse de l'équilibre de température entre phases (Fig. XI. 5 à 8).

Nous avons adopté comme précédemment la représentation δ -log p et l'avons rapportée à une mole d'air emprisonné. Les isobares se rapportent aux pressions totales du mélange emprisonné, les isochores au volume spécifique de l'air emprisonné.

L'origine des entropies correspond au mélange d'air et de carburant entièrement liquide à 273°K sous la pression absolue de 1,0 hpz.

Nos limites d'utilisation du diagramme chevauchent sur les zones de vaporisation totale et de vaporisation partielle. Nous avons tracé des courbes de richesse constante dans la zone de vaporisation partielle.

Nous avons, comme précédemment, reporté sur le diagramme δ -log p du mélange les points définis par l'espace offert et la température enregistrée affectée de la correction de déphasage.

b/ - Calcul des échanges avec l'extérieur. -

Nous avons calculé, comme dans le cas de l'air seul (X.5/b), les échanges de chaleur avec l'extérieur à partir des variations d'entropies et nous les avons reportés en fonction de l'angle de manivelle (Figures XI.9 a,b,c,d,) mais en nous limitant à la période où la vaporisation est totale.

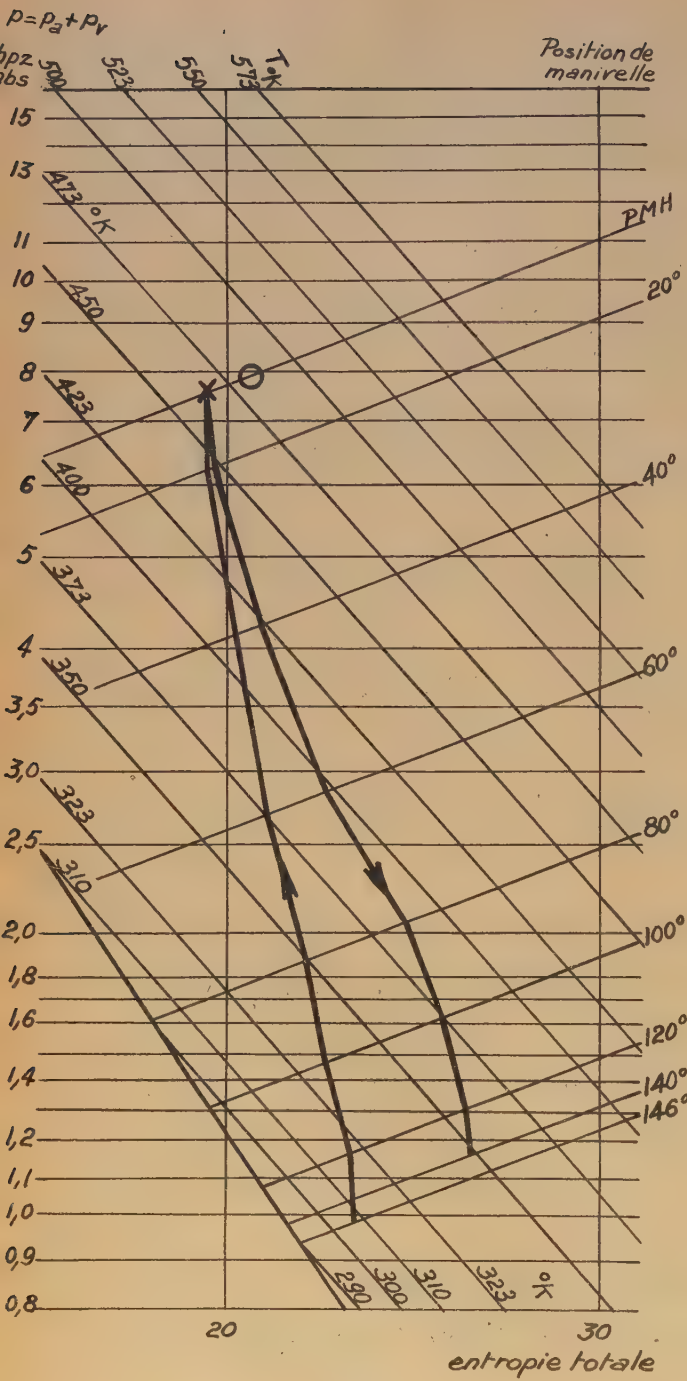
Nous voyons que, pendant la compression et la détente, les échanges de chaleur avec l'extérieur sont du même ordre avec un mélange sec ou avec l'air seul.

XI.5 - EXAMEN DES TRANSCRIPTIONS SUR LE DIAGRAMME ENTROPIQUE. -

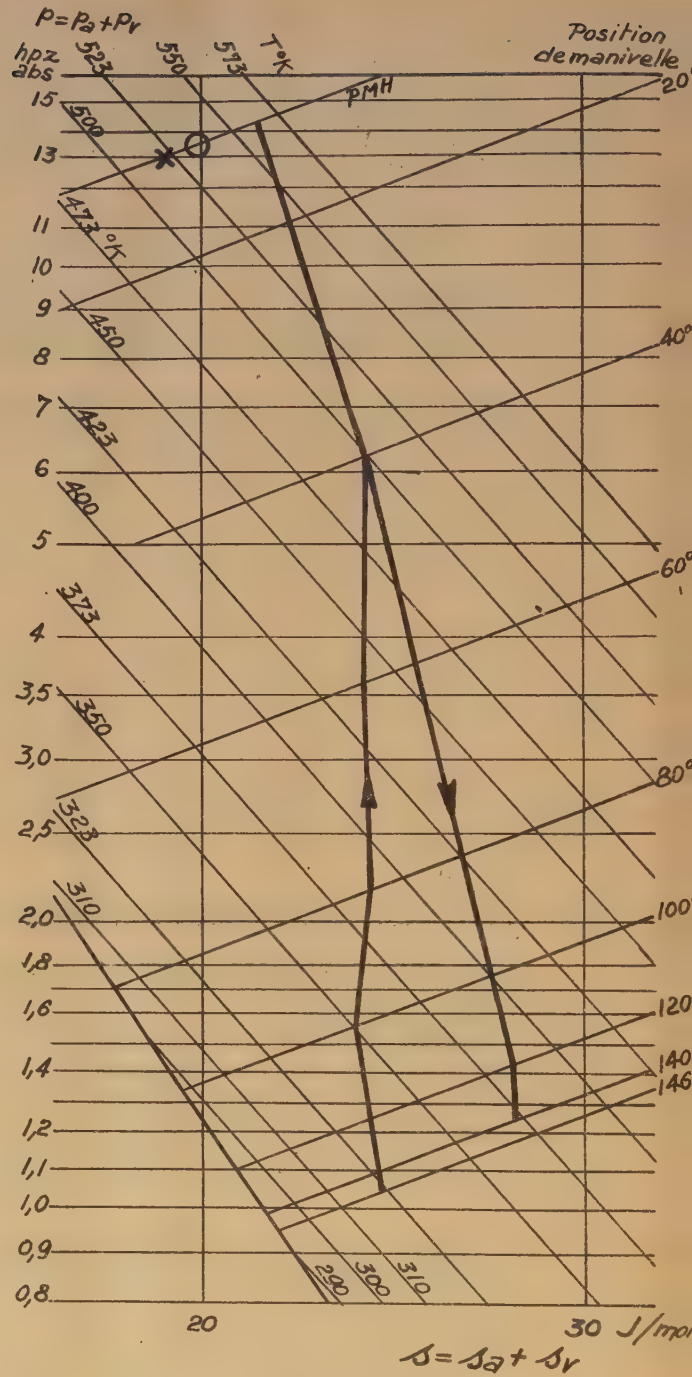
a/ - Enregistrements obtenus avec le méthanol en richesse théorique. (Fig. XI.5, XI.6 a et b, Fig. XI 9 a).

Le premier de ces diagrammes se trouve presque tout entier dans la zone de vaporisation totale et les deux autres complètement. Comparés aux diagrammes obtenus dans les mêmes conditions en régime stabilisé sans carburant on remarque que malgré des températures plus basses l'allure générale est assez sensiblement la même dans les deux cas.

La pression en fin de compression avec carburant est inférieure d'un hectopièze environ à la pression correspondante sans carburant. Ce résultat est voisin de celui de nos mesures directes (0,5 hpz environ inférieur à la moyenne de ces mesures).

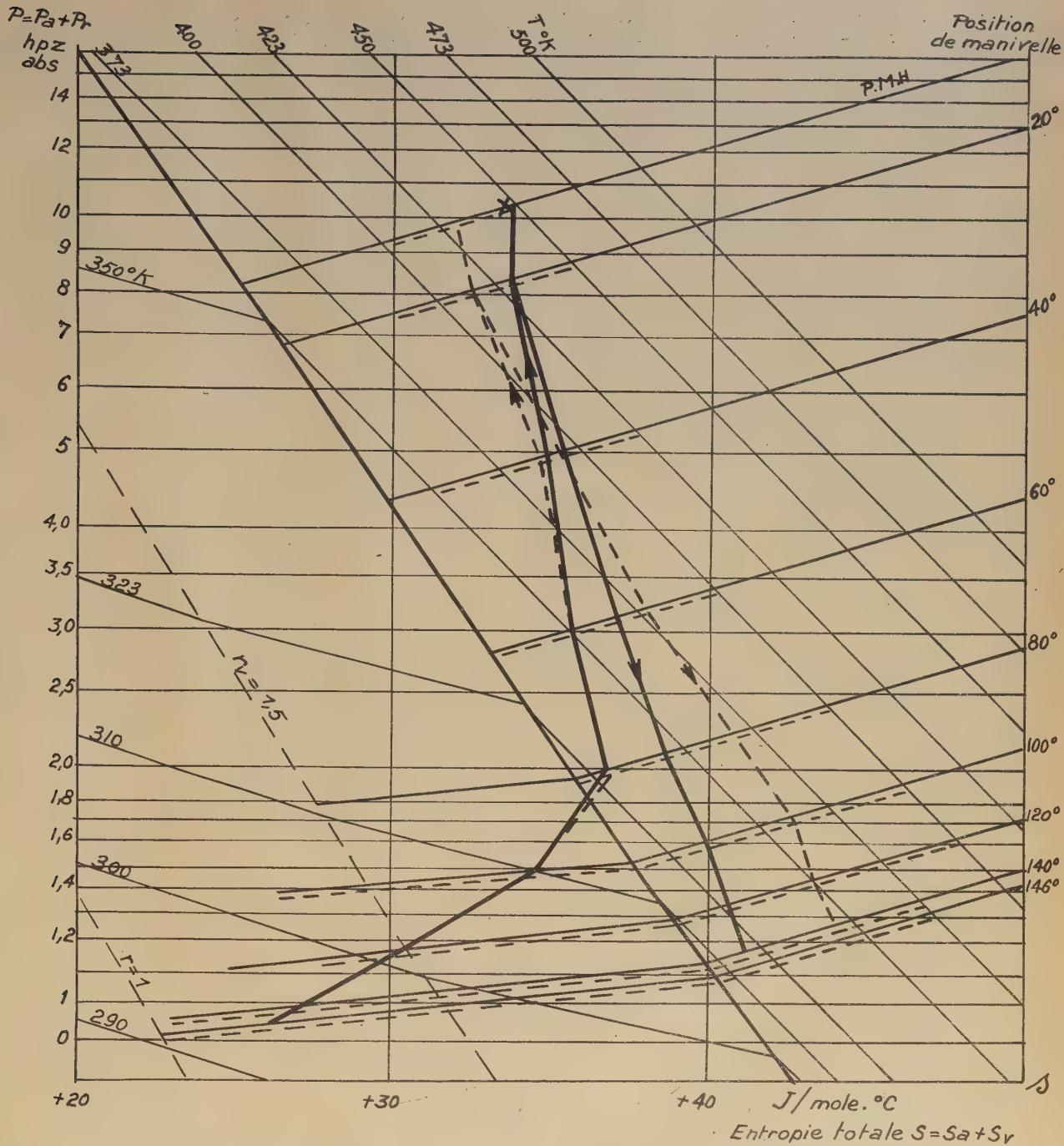


Taux de compression : 5,4.
Masse d'air emprisonnée : 0,024 mole.



Taux de compression : 8,4.
Masse d'air emprisonnée : 0,022 mole.

Fig. XI 6 a et b : Représentation sur le diagramme S -log. p rapporté à 1 mole d'air d'enregistrements de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente à 750 tours/mn d'un mélange d'air et de méthanol en richesse théorique (cf. Fig. XI 2).



- Aussitôt après introduction du méthanol.
Masse d'air emprisonnée : 0,0223 mole.
- Après une heure de fonctionnement avec carburant.
Air emprisonné : 0,0226 mole. Capteur de température mis en place au moment de la mesure.
- x Moyenne des pressions mesurées avec l'acromètre C.F.R.

Fig. XI 7 : Représentation sur le diagramme S -log. p . rapporté à 1 mole. d'air de 2 enregistrements de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente à 750 tours/mn sans allumage d'un mélange d'air et de méthanol au double de la richesse théorique (cf. Fig. XI 3). Taux de compression : 6,9.

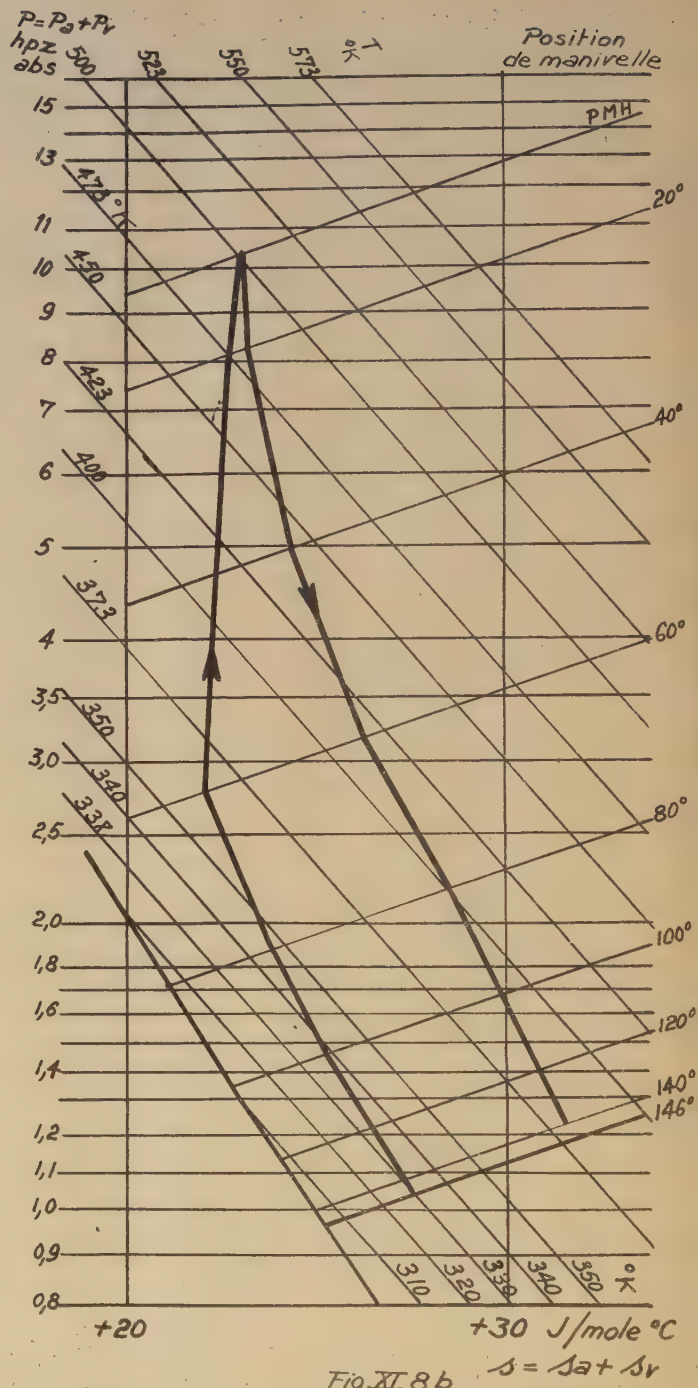
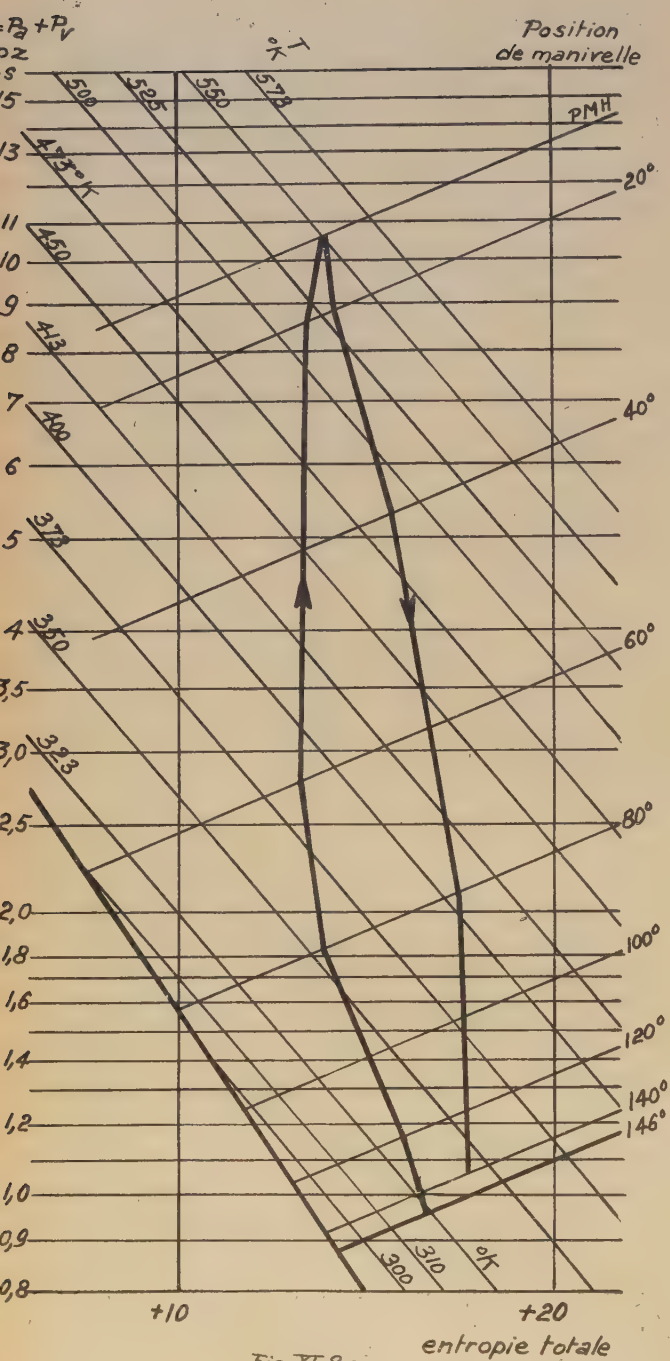


Fig. XI 8 a et b : Représentation sur le diagramme $\log. p$ rapporté à 1 mole d'air, d'enregistrements de température (avec correction de déphasage) en cours de compression et de détente à 750 tours/mn d'un mélange d'air et d'éthanol. Taux de compression : 6,9 (cf. fig. XI 4).

b/ - Enregistrements obtenus avec le méthanol au double de la richesse théorique (Fig. XI.7 et Fig. XI.9 b).

Le diagramme enregistré aussitôt après introduction du carburant (1) et le diagramme après une heure de marche en mettant le capteur de température en place juste au moment de la mesure (3) ont donné des résultats analogues indiquant en particulier que la plus grande partie de la compression et la totalité de la détente ont lieu en vapeur sèche. Les pressions en fin de compression indiquées par ces diagrammes sont inférieures de 1,5 à 2,0 hpz aux pressions correspondantes sans carburant. Elles sont voisines des pressions mesurées directement que nous avons reportées sur les diagrammes.

c/ - L'examen des transcriptions sur le diagramme entropique des enregistrements exécutés avec l'éthanol en richesse théorique et au double de la richesse théorique (Fig. XII .8 a et b) a donné des résultats analogues aux précédents spécialement en ce qui concerne l'évolution de la température du mélange emprisonné et la pression en fin de compression. Ces deux diagrammes indiquent que le mélange était entièrement vaporisé dès la fin du temps d'aspiration.

XI.6 - CONCLUSIONS PARTICULIERES A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DANS UN MOTEUR D'UN MELANGE D'AIR ET DE METHANOL OU D'ETHANOL. -

Un certain nombre d'observations d'ensemble peut se dégager de l'examen de nos résultats, à condition de ne retenir que les diagrammes de température dont on est sûr qu'ils ont été obtenus avec un filament mesureur sec.

a/ - La pression du mélange en fin d'aspiration s'établit à une valeur voisine de la pression atmosphérique à $\pm 6\%$ près.

b/ - Le calcul de la chaleur cédée par le moteur en mélange aspiré indique des valeurs beaucoup plus importantes en présence de carburant liquide.

Les choses semblent se passer comme si le frottement du piston dégageait une grande quantité d'énergie dont la majeure partie se disperserait dans le moteur lorsque les parois sont en présence d'un gaz sec et qui serait absorbée en beaucoup plus grande proportion par un mélange humide.

L'influence d'une énergie de frottement qui dépend d'un nombre important de facteurs dont nous sommes difficilement maîtres contribuerait à expliquer la dispersion des résultats expérimentaux.

c/ - Pendant la phase de compression, le moteur céderait de la chaleur au mélange aspiré jusqu'à vaporisation totale de celui-ci.

A partir de ce moment, au contraire c'est l'air emprisonné qui cède de la chaleur aux parois, à peu près dans les mêmes conditions que dans le cas de la marche sans carburant.

d/ - Pendant la détente le mélange emprisonné reçoit plus de chaleur du moteur qu'il lui en a cédé pendant la compression.

e/ - Les diagrammes enregistrés avec l'éthanol donnent des résultats très analogues à ceux obtenus avec le méthanol en remarquant toutefois que la phase de compression a lieu en milieu entièrement vaporisé pour la richesse $r = 2$, comme pour la richesse théorique.

f/ - Avant de terminer remarquons que ces différents résultats confirment les prévisions de M. VAN LERBERGHE et GLANSDOREFF (I.5a) sur l'allure des phénomènes de vaporisation dans un moteur froid bien que ces auteurs n'aient pas fait entrer en ligne de compte l'énergie apportée par les frottements.

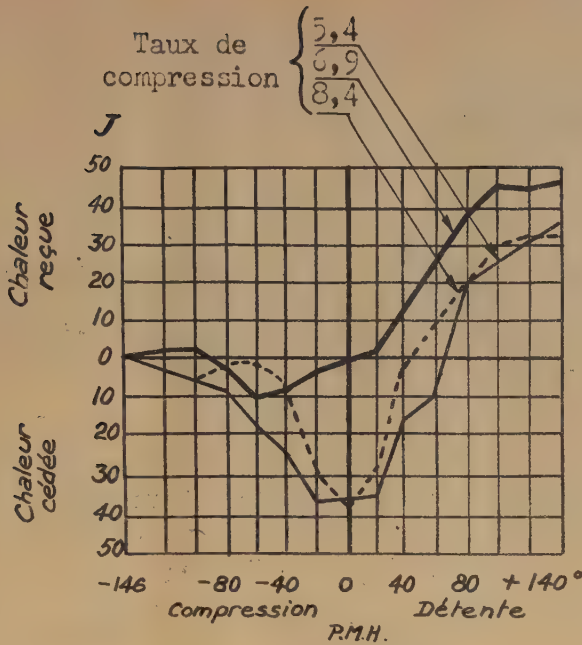


Fig. XI 9a

Moteur alimenté en mélange air-méthanol de richesse théorique (cf. fig. XII 5, XII 6 a et b)

Taux de compression 6,9.
① Après introduction de carburant.
② Après 1 heure avec carburant.

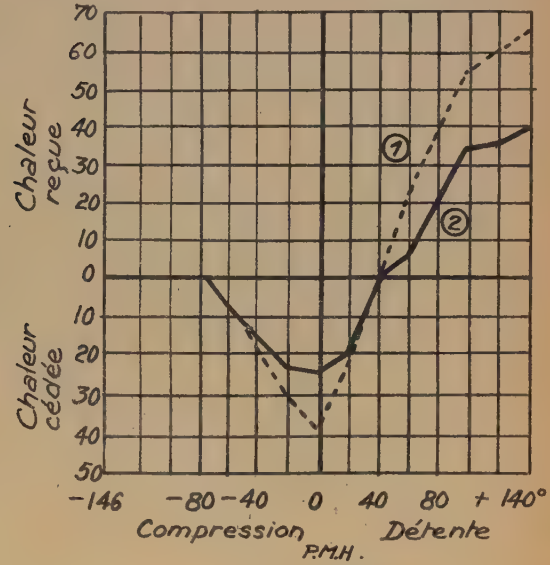


Fig. XI 9b

Moteur alimenté en mélange air-méthanol au double de la richesse théorique. (cf. Fig. XII. 7)



Fig. XI 9c

Moteur alimenté en mélange air-éthanol de richesse théorique.

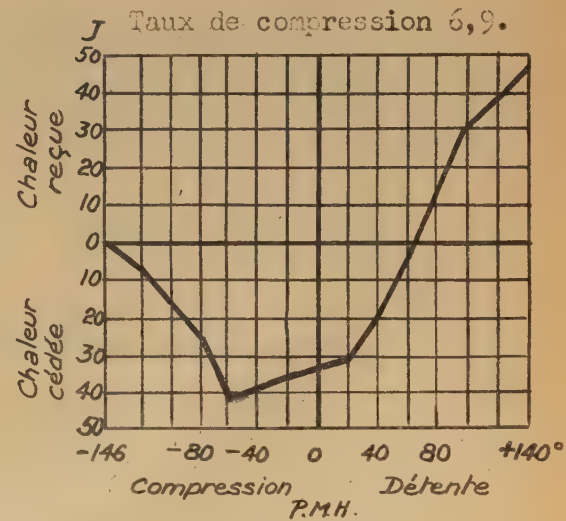


Fig. XI 9d

Moteur alimenté en mélange air-éthanol au double de la richesse théorique.

Fig. XI 9 a,b,c,d. : Echanges thermiques avec l'extérieur pendant les temps de compression et de détente après vaporisation totale du carburant dans le cylindre d'un moteur fonctionnant sans allumage (à 750 t/mn)

CONCLUSION

La mise au point d'un thermomètre électronique à variation de résistance nous a permis d'étudier l'évolution d'air seul, puis celle d'un mélange d'air et de carburant volatil dans un moteur à explosion avant l'allumage. Le carburant choisi pour ces mesures était le méthanol. Quelques mesures complémentaires ont été exécutées avec l'éthanol.

Des diagrammes de températures rapidement variables ont été enregistrés dans le collecteur d'admission puis dans le cylindre même d'un moteur monocylindrique fonctionnant sans allumage. Ces prises de films ont été complétées par des mesures de pression et de débit de l'air aspiré.

Ce débit n'est pratiquement pas influencé par l'introduction de carburant.

Un échauffement progressif du moteur a été constaté dans le cas de l'entraînement sans carburant, même sans compression aucune. Il nous semble devoir être attribué au frottement du piston.

Une partie de cet échauffement se transmet au mélange aspiré à travers le collecteur d'admission. Des mesures par thermocouples placés sur la culasse du moteur et sur le collecteur d'admission indiquent que cet apport de chaleur à travers le collecteur d'admission est à peu près le même avec et sans carburant. Malgré cet apport de chaleur la vaporisation dans le collecteur d'admission est très incomplète. Les températures mesurées sont légèrement supérieures aux températures calculées par la méthode proposée par M. VAN LERBERGHE et GLANSDORFF. Le sens de cet écart est logique.

En ce qui concerne les enregistrements de température dans le cylindre, un certain nombre de difficultés opératoires ont dû être résolues.

Le thermomètre à résistance, en effet exige un nombre assez grand d'étalonnages et de réglages en cascade dont les erreurs s'additionnent. Une critique de précision et une analyse statistique des résultats expérimentaux ont permis de les éliminer dans une mesure appréciable.

L'influence des erreurs de mesures ayant été éliminée au maximum il n'en a pas moins subsisté une dispersion importante que nous sommes conduits à attribuer à des différences dans le fonctionnement du moteur, aux conditions de graissage en particulier. Les mesures exécutées avec l'air seul ont été assez nombreuses pour permettre de choisir des diagrammes enregistrés correspondant aux conditions moyennes de fonctionnement. Des mesures de déphasage entre le maximum de température et le point mort haut ont permis d'éliminer l'influence de ce phénomène sur les enregistrements. Les températures relevées sur les diagrammes ainsi corrigés sont légèrement supérieures aux températures calculées d'après la pression mesurée en fin de compression, ce qui est logique.

L'allure des diagrammes de température dans le cas de l'air seul indique que cet air cède de la chaleur pendant sa compression et en reçoit pendant la détente. La chaleur reçue pendant la détente est inférieure à la chaleur cédée pendant la compression quand le moteur est froid. Cet écart s'inverse au bout d'un certain temps de fonctionnement lorsque la masse du moteur a pris une température suffisante. Il faut en conclure que la chaleur cédée par l'air au moteur pendant sa compression n'a pas le temps de s'évacuer dans la masse du cylindre et qu'elle est récupérée pendant la détente tandis qu'une partie du travail de frottement s'ajoute à la chaleur récupérée.

Les mesures de température dans un cylindre alimenté en air mélangé de carburant ont présenté une difficulté supplémentaire : au bout d'un certain temps de marche avec carburant, en mélange riche surtout, les diagrammes de température s'aplatissaient dans des proportions qui ont semblé anormales. Nous avons pu mettre en évidence qu'il s'agissait d'un phénomène secondaire que nous avons éliminé en mettant le capteur en place juste avant d'effectuer l'enregistrement. Les diagrammes enregistrés dans ces conditions étaient analogues aux diagrammes sans carburant et légèrement aplatis par rapport à ceux-ci.

Les diagrammes de température avec carburant ont été enregistrés en richesse théorique et au double de la richesse théorique.

L'examen des diagrammes indique que la pression dans le cylindre au moment de la fermeture de la soupape d'admission s'établit à une valeur voisine de la pression atmosphérique ($\pm 6\%$) et que le taux de vaporisation augmente considérablement pendant la phase d'admission. Cette observation ne peut s'expliquer que par un apport de chaleur plus grand, du moteur au mélange aspiré, dans le cas de l'alimentation avec carburant.

Pendant la phase de compression les diagrammes de température enregistrés avec carburant indiquent que le moteur cède de la chaleur au mélange emprisonné tant que la vaporisation n'est pas totale et que c'est le mélange qui cède de la chaleur au moteur lorsqu'il est entièrement gazeux.

La vaporisation a toujours été totale en fin de compression avec les mélanges que nous avons étudiés. Ce résultat est conforme aux prévisions de MM. VAN DERBERGHE et GLANSDORFF.

La pression en fin de compression avec carburant diffère très peu de la pression dans les mêmes conditions sans carburant.

On voit ainsi que l'utilisation du thermomètre à variation de résistance, après avoir soulevé quelques difficultés qui ont pu être surmontées a permis de préciser un certain nombre de points sur la préparation des mélanges carburés.

Il est en particulier assez caractéristique de noter que des mesures de température du gaz enfermé dans un cylindre révèlent l'influence des frottements mécaniques sur la préparation du mélange carburé et peuvent nous renseigner sur son ordre de grandeur.

Le thermomètre à résistance peut donc être considéré comme un précieux instrument de travail susceptible de rendre des services importants dans l'étude des phénomènes rapidement variables.

--:--:--:--:--:--

BIBLIOGRAPHIE

- [1] André ACHARD - Solution périodique de l'équation aux dérivées partielles : $y + a \frac{\partial x}{\partial t} + b \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$ IV.1/c
Rapport N° 2505 en lecture à l'INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, 2 rue de Lübeck PARIS
- [2] E. AUDIBERT - "Les Carburants, GAUTHIER-VILLARS, pages 19 à 35. I.3
- [3] E.M. BARBER et J.H. MACPHERSON - "Application of Equilibrium-Air -Distillation to gasoline performance calculations". S.A.E. Journal Trans. Vol. 4, N°1, Janvier 1950, p. 15-25. I.3
- [4] F. BOSNJAKOVIC - "Verdampfung und Flüssigkeits-überhitzung". Analyse publiée dans la Z.V.D.I. du 21.12.30, p. 1728 de l'article du même auteur paru dans Tech. Mech u. Thermodyn. Tome I (1930), p. 358. II.3
- [5] F. BOSNJAKOVIC - "Austausch zwischen Dampf und Flüssigkeit einfacher Stoffe". Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens. Mai-Juin 1932, p. 135 Ed. V.D.I., Berlin NW7. II.4/a
- [6] O.C. BRIDGEMAN - S.A.E. Journal, T. 22, 1928 p. 437. I.3
- [7] O.C. BRIDGEMAN - "Dew points of air-gasoline mixtures from distillation curves". Ind. Eng. Chem., Août 1928, p. 821-826. I.3
- [8] O.C. BRIDGEMAN - "Equilibrium volatility of motor fuels from the standpoint of their use in internal combustion engines". Journal of Research of Nat. Bur. of Standard, Vol. 13, Juillet 1934 p. 53-109. I.3
- [9] G.G. BROWN - University of Michigan engineering research (Bulletin N°14, Mai 1930). I.3
- [10] W.T. DAVID - "Temperature measurements in gaseous combustion". Phil. Mag. 9 (7) 1930, p. 402 à 414. IV.1/a
- [11] H.L. DRYDEN et KUTHE - "The measurement of fluctuation of air speed by the hot wire anemometer". N.A.C.A. Report N° 320. IV.1/a

- [25] M. du PARQUET - Rapports sur " l' étude des carburants au point de vue de leur aptitude au démarrage". I.1/b
I.2
En lecture à l'INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE I.4/b
2, rue de Lübeck, PARIS, 16ème. IX.9
- [26] M. du PARQUET - Rapport N° 2117 sur les " échanges thermi - IV.1/c
ques le long d'un filament de thermomètre à
résistance ". En lecture à l' INSTITUT
FRANCAIS DU PETROLE.
- [27] M. du PARQUET - Notes de Documentation N° 315, 316, 317 sur I.1
"l'aptitude au démarrage et la préparation
du mélange carburé ".En lecture à l'INSTITUT
FRANCAIS du PETROLE.
- [28] H. FRAGER - Zur theoretischen Behandlung des Verdamp- II.3
fungsvorgangs und Blasenbildung. Sitzungsbe-
richt der Wiener Akademie E 149 (1940) p. 31
- [29] M. PUISAIS - "Dispositifs spéciaux réalisés à la Station III.2
H. MOYNOT de BELLEVUE pour la mesure des débits d'air
aspiré par le moteur et le réglage de la ri-
chesse du mélange carburé ". Annales de
l'Off. Nat. des Combustibles 1935, N°4, p.
663 à 678.
- [30] Maurice RABOT - "L'anémomètre à fil chaud pour les mesures IV.7
de turbulence en soufflerie ". Note Technique
CRA. N° 64, Ed. en 1946.
- [31] N.A. RAGOSINE - Formulaire pour les Combustibles d'aviation Fig. 1,2
et d'automobiles. Moscou 1947. 3.
- [32] G. RIBAUD - Mesures des températures, Chapitre IV, IV.1/a
Armand COLIN.
- [33] G. RIBAUD - "La convection forcée de la chaleur en ré- II.4
gime d'écoulement laminaire". Mémorial des
Sciences Physiques, Fascicule XL, GAUTHIER -
VILLARS, 1939
- [34] G. RIBAUD - "La convection forcée de la chaleur en ré- II.4
E. BRUN gime d'écoulement turbulent". Mémorial des
Sciences Physiques, Fascicule XLVI.
- [35] G. RIBAUD - "La convection de la chaleur aux grandes vi- II.4
E. BRUN tesses". d°, Fascicule LI.
- [36] Fr. SCHAUB - "Versuche über Anlassen von Ottomotoren bei I.4/a
tiefen Temperaturen". M.T.Z. Juillet - Août
1950, p. 89 à 91.
- [37] M. SERRUYS - "Comment économiser matières premières et I.4/b
carburants". La France Energétique N° 3/4
5/6 Mars-Avril et Mai-Juin 1942.

- [38] M. SERRUYS - "Généralités et considérations théoriques sur la carburation dans les moteurs à explosion". La France Energétique, Janv./Fév. 1946, p. 14. I.4/b
- [39] N. SIVOLOBOV - "Expression des limites d'inflammabilité des carburants en fonction de leur richesse". Annales des Mines et des Carburants 3ème livraison 1943, 14ème Série T. II. Richesse
- [40] L. THALER - "Manographe strobocathodique". Revue de l'I.F.P., Vol. II, N° 8 - 9 Août-Septembre 1947, p. 464, 478-484. III.4/a
- [41] L. THALER - "Enregistrement du phénomène relevé sur l'écran des tubes cathodiques". Revue de l'I.F.P., Vol. II, N° 8 - 9 Août-Septembre 1947, p. 447-449. III.4/b
- [42] P. VERNOTTE - "Les mesures de température dans la technique des moteurs d'aviation". Publ. Scient. du Ministère de l'Air, N° 230. IV.1/a
- [43] R. VICHNIEVSKY - "Application aux moteurs de la mesure des températures par thermomètre à résistance". Revue de l'I.F.P., Février-Mars-Avril 1947. IV.1/a
- R. GUYOT
G. MONNOT
M. du PARQUET
- [44] Annuaire du Bureau des Longitudes - 1948 - GAUTHIER-VILLARS p. 192, 431, 440, 441, 465. Constantes Fig. I.1
- [45] Tables annuelles Internationales de Constantes et données numériques - GAUTHIER-VILLARS, T. I, p. 8 et 77 Constantes Fig. I.2 et 3.
- [46] d° Vol. VII - Première Partie p. 140 Constantes
- [47] d° Vol. IX - Première Partie ... p. 81 et 82 Fig. I.1
- [48] A.S.T.M. Standard Method of Testing Designation D. 86 I.3
- [49] A.S.T.M. Manual of engine test methods for rating fuels (1948) édité par l'American Society for Testing Materials 1916 Rad.st. Philadelphie. 3 p. 65 IV.1/a

TABLE DES MATIERES

Pages

<u>AVANT-PROPOS</u>	1
Unités	3
Notations	3
Constantes physiques	6
Richesse d'un mélange combustible	9

INTRODUCTION

CHAPITRE Ier - Bibliographie sur la préparation du mélange
carburé dans un moteur à explosion...

I.1 - Etat actuel de la question du démarrage	11
I.2 - Mesures de température dans le collecteur d'admission exécutées à Bellevue	12
I.3 - Travaux américains sur la volatilité des essences .	13
I.4 - Etudes théoriques européennes sur la préparation du mélange carburé	14
I.5 - Conclusions	18

CHAPITRE II - Programme expérimental et bibliographie sur
les échanges thermiques.

II.1 - Programme expérimental	21
II.2 - Raisons d'une étude bibliographique des échanges thermiques	21
II.3 - Processus de la vaporisation et de la condensation	22
II.4 - Echanges de chaleur avec les parois	23

PREMIERE PARTIE - MATERIEL EXPERIMENTAL - PRECISION DES MESURES.

CHAPITRE III - Moteur expérimental - Mesures des débits et
des pressions.

III.1 - Moteur expérimental	25
III.2 - Mesure de débits d'air et de carburant	29
III.3 - Mesure directe des maxima et des minima de pression au moyen d'acromètres	31
III.4 - Enregistrement des pressions au moyen du manographe strobocathodique	32
III.5 - Repérage de la position de l'arbre par rapport aux enregistrements de pression.	35

CHAPITRE IV - Enregistrement des températures rapidement variables au moyen d'un thermomètre par variation de résistance.

IV.1 - Généralités	37
IV.2 - Description du thermomètre à résistance.....	39
IV.3 - Etalonnage et précision	41
IV.4 - Enregistrement de température dans le cylindre ..	47
IV.5 - Enregistrement de température dans le collecteur d'admission	49
IV.6 - Repérage de la position de l'arbre par rapport aux enregistrements de température	49
IV.7 - Critique du thermomètre électronique par variation de résistance	50

DEUXIEME PARTIE - MESURES DE PRESSION ET DE TEMPERATURE DANS LE COLLECTEUR D'ADMISSION D'UN MOTEUR MONOCYLINDRE.

CHAPITRE V - Résultats expérimentaux.

V.1 - Introduction	53
V.2 - Mesures de pression	55
V.3 - Mesures par thermomètre à mercure de la température moyenne au cours d'un cycle (sans carburant et avec méthanol)	55
V.4 - Mesures par thermo-couple de la température de la masse du collecteur d'admission et de celle du moteur	57
V.5 - Enregistrements de température dans le collecteur d'admission (sans carburant, avec méthanol et carburateur enlevé)	57

CHAPITRE VI - Interprétation.

VI.1 - Analyse générale des résultats expérimentaux	59
VI.2 - Comparaison des résultats des mesures avec ceux d'un calcul exécuté dans l'hypothèse où le liquide et le mélange gazeux sont à la même température	61
VI.3 - Comparaison des résultats des mesures avec ceux d'un calcul exécuté en supposant les températures différentes en phases liquide et gazeuse.	65
VI.4 - Conclusions	67

TROISIEME PARTIE - ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'AIR DANS UN CYLINDRE
DE MOTEUR NE RECEVANT PAS DE CARBURANT.

CHAPITRE VII - Objet - Mesures de pression - Mesures de
température avant stabilisation des échanges
thermiques.

VII.1	- Introduction	69
VII.2	- Mesures de pression	71
VII.3	- Mesures de température de l'air seul dans un cylindre de moteur avant stabilisation des échan- ges thermiques	75

CHAPITRE VIII - Diagrammes de température relevés pendant
l'évolution de l'air seul dans un cylindre
de moteur en régime stabilisé. Analyse sta-
tistique des résultats.

VIII.1	- Essais exécutés	79
VIII.2	- Principes de l'analyse statistique exécutée ...	79
VIII.3	- Groupements des résultats	80
VIII.4	- Essai d'imputation des écarts statistiques par une méthode de corrections maxima	89
VIII.5	- Comparaison des résultats	93
VIII.6	- Conclusions - Diagrammes moyens de température enregistrés au cours de la compression de l'air seul en régime stabilisé	94

CHAPITRE IX - Interprétation des résultats des mesures
exécutées dans le cylindre d'un moteur alimenté
en air seul.

IX.1	- Méthode d'interprétation	95
IX.2	- Résultats des mesures de déphasage des enregis- trements de température sans carburant	95
IX.3	- Elimination de l'influence du déphasage	97
IX.4	- Détermination de la masse d'air emprisonnée	97
IX.5	- Représentation sur le diagramme entropique des phases de compression et de détente	103
IX.6	- Confrontation des résultats	103
IX.7	- Représentation schématique des circulations de chaleur	105
IX.8	- Température des parois intérieures	105
IX.9	- Conclusions de l'étude de la compression de l'air seul	106

<u>CHAPITRE X</u>		<u>- Mesures de pression et de température.</u>
		<u>Déphasage des enregistrements de température.</u>
X.1	- Conditions générales d'expérimentation	109
X.2	- Mesures de pression en fin de compression du mélange air-méthanol	111
X.3	- Enregistrements de température des mélanges d'air et de carburant dans un cylindre	111
X.4	- Enregistrements de température de mélanges air-méthanol	111
X.5	- Enregistrements de température du mélange air-éthanol	117
X.6	- Influence du carburant sur le déphasage des enregistrements de température	117
<u>CHAPITRE XI</u>		<u>- Interprétation des résultats des mesures exécutées dans le cylindre d'un moteur alimenté en air mélangé de méthanol ou d'éthanol.</u>
XI.1	- Exemples étudiés	121
XI.2	- Masse du mélange emprisonné	123
XI.3	- Etude de la phase d'aspiration	123
XI.4	- Etude des temps de compression et de détente	127
XI.5	- Examen des transcriptions sur le diagramme entropique	127
XI.6	- Conclusions particulières à l'étude de l'évolution dans un moteur d'un mélange d'air et de méthanol ou d'éthanol	131
CONCLUSION		134
BIBLIOGRAPHIE		137

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

État actuel de l'étude du frottement des corps solides
spécialement dans le cas de pression élevée

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 28 Décembre 1951

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

A. CHATELET

VU ET-PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

JEAN SARRAILH

